



**UAI – UNIONE ASTROFILI ITALIANI
SEZIONE QUADRANTI SOLARI**

**ATTI DEL X SEMINARIO NAZIONALE DI
GNOMONICA**

San Benedetto del Tronto (AP)

6/7/8 Ottobre 2000

Organizzato da:

F. Azzarita e don A. Cintio

INDICE

- Svolgimento dei lavori	pag. 2
- Elenco iscritti.....	5
- Foto di gruppo.....	7
- Incontri operativi.....	9
- Abstracts delle memorie.....	11

Memorie:

- Agnes Luciano: Radiografia di restauro.....	16
- Alberi Auber Paolo: Una "centina" per lo stilo.....	19
- Anselmi Riccardo: Applicazioni del metodo di intersezione.....	30
- Arnaldi Mario: Orologi solari medievali espartiti.....	40
- Azzarita Francesco: La "Meridiana del parco" a Bari.....	48
- Catamo Mario: Doppio foro gnomonico a S.M. degli Angeli.....	55
- Catamo e Lucarini: Orologi solari a diffrazione.....	59
- Cintio Alberto: Tecniche per realizzare una meridiana.....	69
- Coviello Clara: La meridiana di Giorgio.....	72
- D'Amico Sergio: Metodi fisici per l'analisi e la datazione di q.s. fissi.....	77
- Del Favero Enrico: Il Catalogo dei quadranti solari italiani.....	92
- Fantoni Girolamo: I globi di Prosymna e di Matelica.....	95
- Ferrari Gianni: Calendario e Meridiane.....	117
- Ferrari Gianni: gnomone costituito da più lenti.....	131
- Ferro Milone Francesco: Superfici "isotache", una famiglia di orologi solari.....	144
- Flora Giovanni: La luce naturale gnomonica applicata alle costruzioni.....	147
- Giorgi Antonio: Un nuovo programma informatico Phoebus.....	150
- Gunella Alessandro: I quadranti d'altezza della famiglia c.d. "cappuccina".....	158
- Lovotti P. Giuseppe: Applicazioni del metodo montecarlo alla gnomonica.....	164
- Lovotti P. Giuseppe: Versioni tecnolog. dell'orologio delle giovani marmotte.....	171
- Lucarini e Catamo: Meridiana per trasparenza con gnomone a lente trifocale.....	173
- Marianeschi Edmondo: Per una grammatica della gnomonica.....	179
- Marianeschi Edmondo: Gnomonica a Qumran.....	181
- Nicelli Alberto: Sul globo di Matelica come gnomone.....	183
- Paltrinieri Giovanni: Orientamenti delle Chiese romaniche bolognesi.....	192
- Rigassio Giancarlo: La misurazione del tempo? Un gioco da ragazzi.....	200
- Vanin Gabriele: Lo gnomone del Toscanelli nel Duomo di Firenze.....	202
- Zuccalà Giuseppe: Orol. solari su superfici cilindriche concave e convesse.....	206
- Zuccalà Giuseppe: Merkheth vecchi e nuovi.....	219

Svolgimento dei lavori

Il X Seminario Nazionale di Gnomonica della Sezione Quadranti Solari dell'U.A.I. si è svolto a S.Benedetto del Tronto (AP) nei giorni 6, 7 e 8 ottobre 2000 presso l'Hotel Relax.

E' stato organizzato da Francesco Azzarita e don Alberto Cintio della Sezione Quadranti Solari.

Gli iscritti al Seminario sono risultati 103 di cui 8 iscritti sul posto.

I principali dati statistici del X Seminario, confrontati con i due precedenti sono stati i seguenti:

	VIII Seminario	IX Seminario	X Seminario
Iscritti complessivi	78	106	103
Iscritti presenti	68	97	78
Iscritti con e-mail	18	54	94
Iscritti Soci UAI	23	54	80
Memorie presentate	39	48	29
Autori di memorie	23	30	23

Le regioni di provenienza degli iscritti sono state, nel X Seminario rispetto al IX:

	IX Seminario	X Seminario
Lombardia	31	20
Veneto	17	11
Liguria	1	2
Piemonte	14	15
Toscana	8	6
Trentino Alto Adige	2	2
Valle d'Aosta	1	1
Friuli	7	7
Emilia	7	7
Puglia	2	7
Lazio	10	10
Marche	3	8

Sicilia	2	3
Umbria	1	1
Abruzzo	-	1
Basilicata	-	1

A ciascun iscritto, presente al Seminario, è stata consegnata all'inizio dei lavori una Cartella contenente:

Cartellina dei Lavori

L'elenco degli iscritti ed i loro indirizzi

Autori, titoli ed estratti delle memorie presentate

Materiale informativo vario

Lo svolgimento dei lavori è stato il seguente.

VENERDI' 6 OTTOBRE

15,00-15,30	APERTURA LAVORI – Interventi di Azzarita, Cintio, Del Favero
15,30-15,50	MARIANESCHI – Per una grammatica della Gnomonica
15,50-16,10	AZZARITA – La Meridiana del Parco a Bari
16,10-16,30	CINTIO – Tecniche per realizzare una meridiana
16,30-16,50	D'AMICO – Metodi fisici per analisi e datazione di quadranti solari fissi
16,50-17,20	INTERVALLO
17,20-17,50	MARIANESCHI – Gnomonica a Qumran
17,50-18,10	PALTRINIERI – Orientamento delle Chiese romaniche bolognesi
19,30	CENA
21,00	PROIEZIONI DI DIAPOSITIVE

SABATO 7 OTTOBRE – mattina

09,00-09,30	LUCARINI-CATAMO – Meridiana per trasparenza con gnomone a lente trifocale
09,30-09,50	FERRARI – Gnomone costituito da più lenti
09,50-10,10	RIGASSIO – La Misurazione del tempo? Un gioco da ragazzi
10,10-10,30	ARNALDI – Orologi solari medievali espartiti: indagini sulla loro origine e significato
10,30-11,00	INTERVALLO
11,00-11,20	ALBERI – Una “centina” per lo stilo
11,20-11,40	COVIELLO – La meridiana di Giorgio
11,40-12,00	GUNELLA – I quadranti d'altezza della famiglia “cappuccina”

13,00

PRANZO

SABATO 7 OTTOBRE - pomeriggio

15,30-15,50

AGNES – Radiografia di un restauro di q. s. seicenteschi al liceo U. Foscolo di Pavia

15,50-16,10

CATAMO – Doppio foro gnomonico a Santa Maria degli Angeli

16,10-16,30

FLORA – La luce naturale gnomonica applicata alle costruzioni

16,30-16,50

ANSELMINI – Applicazione del metodo di intersezioni

16,50-17,20

INTERVALLO

17,20-17,40

FERRARI – Calendario e Meridiane

17,40-18,00

CATAMO-LUCARINI – Orologi solari a diffrazione

18,00-18,20

VANIN – Lo gnomone del Toscanelli nel Duomo di Firenze

18,20-18,40

DEL FAVERO – Il Catalogo dei Quadranti Solari – Lo stato di avanzamento dei lavori

19,30

CENA

21,00

INCONTRO OPERATIVO

DOMENICA 8 OTTOBRE – mattino

09,00-09,20

ZUCCALA' – Orol. solari su superfici cilindriche concave e convesse

09,20-09,40

ZUCCALA' – Merkhets vecchi e nuovi

09,40-10,00

GIORGI – Un nuovo programma informatico Phoebus

10,00-10,20

NICELLI – Sul globo di Matelica come gnomone di un orologio orizzontale

10,20-10,50

INTERVALLO

10,50-11,10

FANTONI – Orologi solari dell'antica Grecia: globi di Matelica e Prosymna

11,10-11,30

FERRO MILONE – Superfici "isotache", descrizione di una famiglia di orologi solari

LOVOTTI – Applicazione del metodo di Montecarlo alla gnomonica

11,30-11,50

LOVOTTI – Versioni tecnologiche dell'orologio delle giovani marmotte

11,50-12,10

CHIUSURA LAVORI

12,30

PRANZO

I lavori hanno avuto come moderatori Azzarita, Cintio, Del Favero

**ELENCO ISCRITTI AL X SEMINARIO NAZIONALE DI GNOMONICA
S. BENEDETTO DEL TRONTO (AP) 6-7-8 OTTOBRE 2000**

	NOMI E COGNOMI	INDIRIZZI	E-mail	Num.te
1	AGNES Luciano	V. della Rocchetta 2- 27100 Pavia	luciano.agnes@tin.it	0382-32672
2	AGNESONI Mauro	V.Pagliaresi 15 - 53100 Siena	mauroagn@tin.it	0577-221779
3	AGNESONI Claudio	Via Duprè 65 - 53100 Siena	claudioagn@iol.it	0577-223404
4	ALBERI Paolo	L.go Promontorio 2 Trieste	ingauber@ti.it	040-301596
5	ANGELO Giuseppe	V.Tortona 6 - 20144 Milano	sidi.a@tiscalinet.it	02-4239759
6	ANSELMi Riccardo	Fz. Tenso 31 - 11027 Saint Vincent (AO)	riccardo.anselmi@libero.it	0166-512544
7	ARCARI Barbara	V. Palestro 15 - 22100 Como	baarcari@tin.it	031-267327
8	ARNALDI Mario	V.Leonardo 82 - 48020 Lido Adriano (RA)	marnaldi@libero.it	0544-496919
9	AZZARITA Francesco	V. Fanelli 206/M - 70125 Bari	azzarita@libero.it	080-5021355
10	BAGGIANI Massimiliano	V. Torricelli 5 - 48018 Faenza (RA)		0546-22507
11	BAGGIO Francesco	V. Sardegna 63 - 21020 Buguggiate (VA)		0332-455091
12	BAGGIO Roberto	V.Robarello 2 - 21100 Varese	robag@tin.it	0332-228142
13	BANFO Roberto	Corso Giulio Cesare 359-10154 Torino	roberto.banfo@tiscalinet.it	
14	BARBOLINI Stefano	P.zza Pier Vettori 1/A - 50143 Firenze		055-223437
15	BARUFFI Lucio	V.della Farnesina 230 - 00194 Roma	baruffi@acenet.it	06-36307746
16	BASILICI Paolo	V.G.F.Angelita 7 - 62019 Recanati (MC)		071-7570217
17	BELTRAMI Gian Antonio	V.Arona 6 - 20149 Milano	giannibeltrami@dada.it	02-311070
18	BIGOZZI Umberto	V. Giusti 10 - 50121 Firenze	u.bigozzi@dfc.unifi.it	055-2477722
19	BONATA Diego	V. S.Bernardino 102 - 24126 Bergamo	dibonata@tin.it	035-315337
20	BONZANI Giacomo	V.Peretti 18 - 28856 Villette (VB)		0324-97221
21	BRINCH Giovanni	V.Archimede 35 - 97100 Ragusa	giovanni.brinch@katamail.com	0932-24446
22	CAMPARI Luigi	P.zza Repubblica 2 - 26012 Castelleone (CR)	warder@libero.it	0374-58768
23	CAPPELLETTI Roberto	V. Valsesia 55, sc N/7 - 00141 Roma	sisosi@tin.it	06-8105305
24	CATAMO Mario	V. Eutropio 28 - 00136 Roma	marcatamo@tin.it	06-35452161
25	CAUSERO Miriam	V. Roma 23 - 33040 Moimacco (UD)	mdon@sede.civibank.it	0432-722037
26	CAVIGLIA Francesco	V. Saffi 21 - 10138 Torino	francesco.caviglia@cselt.it	011-4333703
27	CINTIO don Alberto	Largo S. Maria 1 - 63010 Altidona (AP)	alberto.cintio@tiscalinet.it	0734-932744
28	COSTAMAGNA Andrea	V.Garovaglio 61 - 22100 Como	andreaacostamagna@eta.it	031-305351
29	COVIELLO Clara	V. Malaguti 31 - 40126 Bologna	claracoviello@hotmail.com	051-241897
30	CRAB NEBULA Astrofili	V.le B.Buozzi 121-62029 Tolentino (MC)		
31	D'AMICO Sergio	Via Giotto 11 - 72028 Torre S.Susanna (BR)		0831-746184
32	DE DONA' Giuseppe	Località Volpe 277- Sospirolo (BL)	gdedona@mail.sunrise.it	0437-843218
33	DEL FAVERO Enrico	V. Lambro 2 - 20129 Milano	delfa.e@iol.it	02-29526746
34	DERIN Endrio	V. S.Giacomo 3 - 18017 Costarainera (IM)	endriode@tin.it	0183-92915
35	DI EMANUELE Leonardo	V. Lucrino 41 - 00199 Roma		06-86211912
36	DRESTI Guido	V. F.lli Piazza 73- 28852 Craveggia (VB)	cla46@ciaoweb.it	0324-98232
37	FACCHINI Roberto	V. Morosini 9 - 31014 Colle Umberto		0438-39875
38	FADINI Giuseppe	C.so V.E.ele 18 - 37069 Villafranca di Verona(VR)		045-7901053
39	FANTONI Girolamo	V. Rubicone 42 - 00198 Roma		06-8555785
40	FERRARI Gianni	V. Valdrighi 135 - 41100 Modena	frank.f@pianta.it	059-367989
41	FERRO MILONE F.sco	Strada dei Tadini 2 - 10131 Torino	cicoferro@yahoo.it	011-6603252
42	FLORA Giovanni	V.Piazzetta 19 - 31100 Treviso	giovanni.flora@tin.it	0422-590293
43	FORNASA Emilio	Via del Convento 26 - Schio (VI)	fornasamarmi@keycomm.it	0445-525507
44	FORNASA Diego	Via M. Zannoni 39 - Thiene (VI)		0445-366473
45	FREGONESE Patrizia	V. Bruno Buozzi 22 - 65121 Pescara	FABRIPATRI@libero.it	085-4214734
46	GAMBINI Amedeo	V. Rossolo 7 - 20142 Milano	amedeo.gambini@iol.it	
47	GARETTI Claudio	V. Bellini 1 - 20015 Parabiago (MI)	cla.gc@tiscalinet.it	0331-559494
48	GARNERO Fabio	V. Vacca 35 - 12037 Saluzzo (Cuneo)	f.garnero@tiscalinet.it	0175-43223
49	GIORGI Antonio	L.go Castellano Sisto V 18 - 63100 A.li Piceno	tronsoft@tin.it	0736-257307
50	GIRETTI Manuel	V. Piave26 - 21020 Buguggiate (VA)	mgiretti@libero.it	0332-459640
51	GUNELLA Alessandro	V. Firenze 21 - 13900 Biella	magun@tin.it	015-26897
52	ITALIANO Vito	Loc.Sistiana 12/Z-3-34019 Duino Aurisina (TS)		
53	LECCI Vito	V.Carducci 172 - 73050 Salve (LE)	vlecci@libero.it	0833-520426

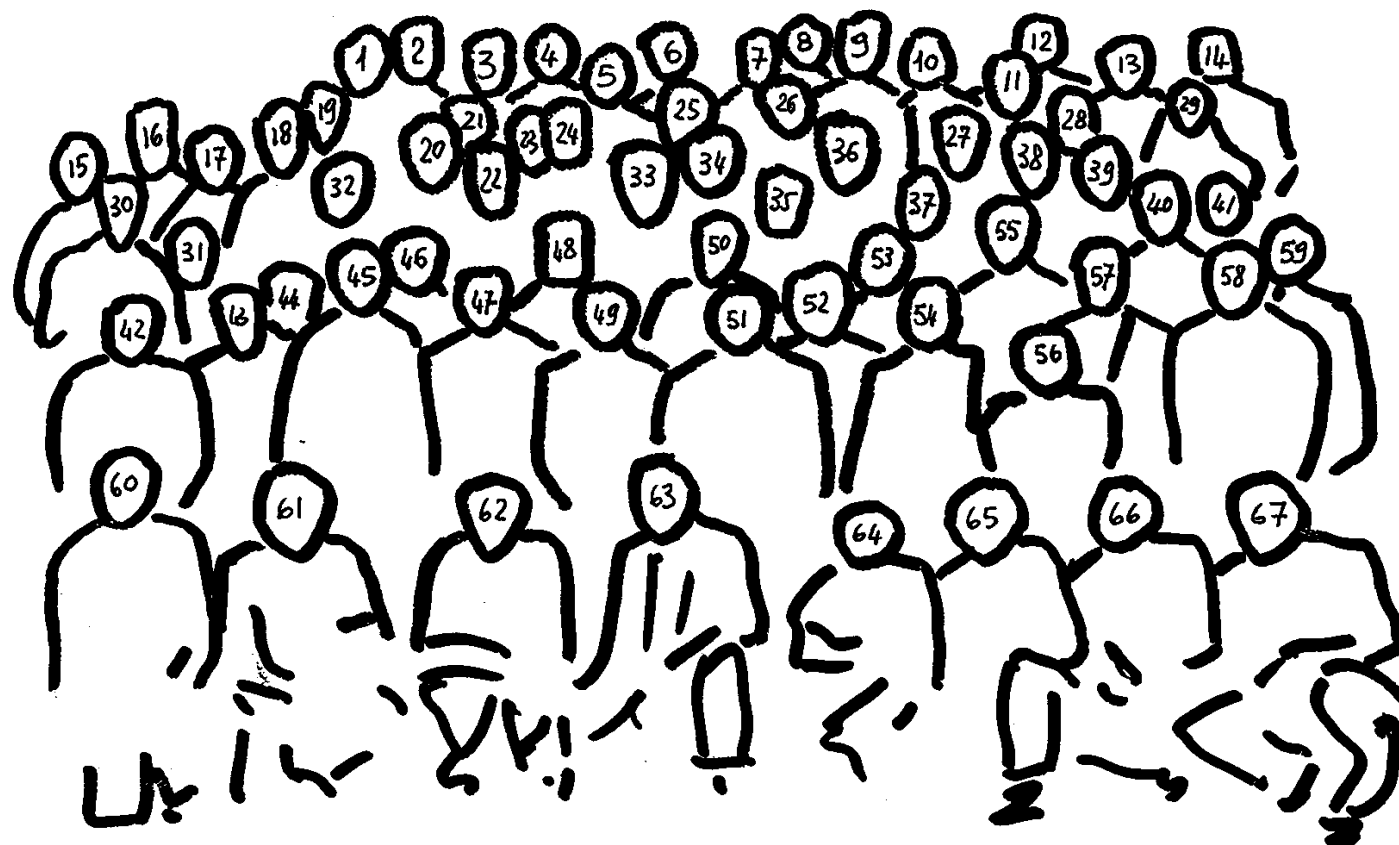
**ELENCO ISCRITTI AL X SEMINARIO NAZIONALE DI GNOMONICA
S. BENEDETTO DEL TRONTO (AP) 6-7-8 OTTOBRE 2000**

	NOMI E COGNOMI	INDIRIZZI	E-mail	Num.tel
54	LIDAK Vladimiro	V.Cilea 1 - 63013 Grottammare (AP)	lidak@jth.it	0735/736158
55	LO SCIUTO Francesco	V. Biasutti 37 - 33038 S.Daniele del Friuli (UD)	f.losciuto@tin.it	0432-955154
56	LOVOTTI Giuseppe	V.Porredo 3 - 54035 Fosdinovo (MS)	dlovotti@tin.it	0187-673262
57	LUCARINI Cesare	P.zza Baracca 6 - 00012 Guidonia (RM)	clucarini@uniroma1.it	0774-342300
58	MAGNANI Silvio	V. Colombarone 78 - 27044 Canneto Pavese (PV)	magnani.s@tin.it	0385-88134
59	MANDOLINI Carlo	Via S.Moretti 23-63039 S.Benedetto del Tronto (AP)		0735-584955
60	MARCOLIN Corrado	V. Girolamo Turro 1 - 32032 Feltre (BL)	comarcol@libero.it	0439-80977
61	MARIANESCHI Edmondo	V. Aulo Pompeo 6 - 05100 Terni		0744-424610
62	MAROCCIA Giovanni	V.G.Mangionello 31 - 73100 Lecce		0832-379002
63	MESTURINI Giorgio	V.Bremio 3 - 15033 Casale Monferrato (AL)	giormest@libero.it	0142-79521
64	MILETO Franco	V.Guido Orlandi 51 - 00131 Roma	silvia.franco@katamail.com	06-41400451
65	MINUTO Silvano	V. Verbano 59 - 28100 Novara	minuto@libero.it	0321-477612
66	MOIA Roberto	V. F. Chopin 19 - 20141 Milano		02-57402986
67	MORRA Lucio Maria	V.Craveri 45 - 12045 Fossano (Cuneo)	lm.morra@isiline.it	0172-633774
68	MOSELLO Rosario	C.N.R. I.to I.no Idrobiologia 50-52-28922 Verbania P.za (VB)	r.mosello@iii.to.cnr.it	0323-518326
69	NONES Giacomo	Via Segantini 22 - 38069 Torbole (TN)		0464-505631
70	NICELLI Alberto	V.C.zione 17/5 - 10018 Pavone C.vese (TO)	Alberto.Nicelli@semagroup.it	0125-516525
71	PAGLIARANI Riccardo	V. Manzoni 20 - 47838 Riccione (RN)	ricky@guest.net	0541-644439
72	PALTRINIERI Giovanni	V.G. Dozza 3 - 40139 Bologna	gpaltri@tin.it	051-455403
73	PANTANALI Aurelio	Via Marconi 65-33041 Aiello del Friuli (UD)	pantanaliaurelio@libero.it	0431-998770
74	PERRINO Vito	V.Umberto I 278 - 70010 Ceglie Bari	vito.perrino@tin.it	080-5036788
75	PIODI Tarcisio	V.Tombetti 20 - 27029 Vigevano (PV)	frapiodi@tin.it	0381-311388
76	PONTIGGIA Flavio	V. S.G.Bosco 12 - 20059 Vimercate (MI)	flavio.pontiggia@libero.it	039-6852653
77	QUINTILI Lorenzo	Via Colle dei Pini 17 - 63012 Cupra Marittima (AP)		
78	RANIERI Vito	V. Trentino 1 - 04100 Latina	vranieri@3dmedia.it	0773-621560
79	REBORA Alberto	P.zza S. Domenico 9 - 15076 Ovada (AL)	sundial@libero.it	0143-81510
80	RIGASSIO Giancarlo	V.Cibrario 3 - 10143 Torino	horologium33@hotmail.com	011-4520935
81	RIGHI Renzo	V.F. Manzotti 133 - 42015 Correggio (RE)	rrighi@hotmail.com	0522-641120
82	RINALDI Alvaro	V. N. Porpora 6 - 50144 Firenze		055-353449
83	ROSSI Marco	V.Pretoriana 9 - 30021 Caorle (VE)	rossi7871@libero.it	0421-210269
84	ROVEDA Ferdinando	V. Bavedo 21 - 10146 Torino	nandoro@interfree.it	011/7723346
85	SAGGESE Lucio	V. G.Schifini 34 - 85037 S. Brancato di Sant'Arcangelo (PZ)	l.saggese@tiscalinet.it	0973-611607
86	SALUCCI Luca	V.P. Gisberti 23 - 61032 Fano (AN)	salucci@libero.it	0721-800024
87	SASSONE CORSI Emilio	Viale della Galassia 43 - 00040 Rocca Priora (RM)	emilio.sassonecorsi@eds.com	06-91163308
88	SAVIAN Fabio	V. Rotondi 1 - 20037 Paderno Dugnano (MI)	fasavian@tin.it	02-9181801
89	SCANDELLA Alessandro	V.le Mazzini 2 - 27029 Vigevano (PV)	alessandro.scandella@libero.it	0381-90170
90	SETTANNI Nicola	Via Burdi 10 - 70010 Triggiano (BA)		
91	SEVERINO Nicola	V. De Nicola 79 - 03043 Cassino (FR)	nicolaseverino@libero.it	0776-566508
92	SILVESTRELLI Giorgio	V.F.lli Carrara 16/3 - 35129 Padova	silvestrellig@tin.it	049-619834
93	SUCI Alberto	V. Milano 24 - 51031 Agliana (PT)	asuci@libero.it	0574-750069
94	TAVERNINI Giuseppe	V.R. Guardini 31 - 38100 Trento		0461-822786
95	TONELLO Guido	V.lo della Torre 2 - 15022 Bergamasco (AL)	gtonello@box1.tin.it	0131-777209
96	TROBIA Michele	V.Einaudi 14 - 95030 S.Agata Li Battiati (CT)	trobiamichele@hotmail.com	095-243253
97	TUSCANO Marisa	V.Don Orione 10 - 90100 Palermo		091-543726
98	VAIANA Vincenzo	V.Manzoni 5-20087 Castellazzo dei Barzi-Robeco S/N (MI)		02-9471173
99	VANIN Gabriele	V.Vignigole 2 - 32032 Feltre (BL)	gabvanin@tin.it	0439-80205
100	VANZIN Enio	V. De Gasperi 28 - 31050 Olmi (TV)	evanzin@hotmail.com	0422-899804
101	VISENTIN Ennia	Via Nannavecchia 12/8 33080 S.Foca di S.Quirino (PN)		0434-918859
102	ZADRO Eraldo	V. C.vado 103 - 33073 S.to al Raghena (PN)	zadro@libero.it	0434-68007
103	ZUCCALA' Giuseppe	V.De Viti De Marco 17 - 70125 Bari	zuccala@olivettiricerca.it	080-5423691



ELENCO DELLE PERSONE NELLA FOTO

1-Magnani, 2-Ferro Milone, 3-Azzarita, 4-Zadro, 5-Zuccalà, 6-Losciuto, 7-Costamagna, 8-Rossi,
9-Del Favero E., 10-Del Favero C., 11 , 12-Mesturini, 13-Tonello, 14 Agnesoni,
15-Agnesoni, 16-Lidak, 17-Banfo, 18-Bonata, 19- 20-Minuto, 21 22 23 ,
24-D'Amico, 25-Italiano, 26-Arcari, 27- 28- 29-Coviello, 30-Paltrinieri, 31- Savian,



32-Arnaldi, 33-Moia, 34-Trobia, 35-Fadin, 36- 37- Brinch, 38-Giorgi, 39-Lucarini, 40-Pantanali,
41-Causero, 42-Catamo, 43-Caviglia, 44-Rigassio, 45-Barbolini, 46-Baruffi, 47-Rinaldi, 48-Salucci,
49-Suci, 50-Rebora, 51-Tavernini, 52-Beltrami, 53-Anselmi, 54-Agnes, 55-Basilici, 56-Piodi,
57-Alberi, 58-Nones, 59-Visintin, 60-Righi, 61-Ferrari, 62-Gunella, 63-Nicelli, 64-Morra,
65-Garnero, 66-Saggezza, 67-Raggio

X SEMINARIO DI GNOMONICA

Nota a cura di Enrico Del Favero

INCONTRI OPERATIVI

A margine delle Sessioni "ufficiali" del Seminario si sono svolte due serate informali aperte ai contributi di tutti. Esse hanno riguardato gli argomenti che seguono.

- A) La prima serata di venerdì 6/10 ha visto la presentazione e il relativo commento di serie di diapositive gnomoniche da parte di:
- Del Favero. Sul grande e complesso orologio solare a riflessione costruito da padre Bonfa a Grenoble (Francia) nel 1673 sulle pareti e sui soffitti di due rampe di scale nell'attuale sede del Liceo Stendhal.
 - Righi. Su recenti realizzazioni di quadranti solari ad opera del presentatore nella provincia di Reggio Emilia.
 - Zuccalà. Su una riproduzione monumentale dello "Scaphen" in lamiera metallica, progettata dal presentatore e messa in opera su di un piedestallo in calcestruzzo armato presso le Scuole Medie di Triggiano (Bari).
 - Morra. Su vari quadranti realizzati recentemente dal presentatore in Piemonte con particolare riferimento a quelli sottoposti a restauro conservativo del comune montano di Bellino (CN).
- B) La seconda serata di sabato 7/10 è stata dedicata prevalentemente all'esame dello stato di avanzamento dei così detti "Progetti gnomonici settoriali" lanciati sulla Lista Internet Gnomonicaitalia nell'ottobre 1999. In particolare:
- E' stata verificato che sono operativi i Progetti sulla "Bibliografia" gnomonica di base, con capofila Ferrari (ospitata sulle pagine Internet di Arnaldi), e il bollettino mensile di brevi notizie Gnomonicaitalia NOVAE di cui è editore su Internet Del Favero.
 - Per il Progetto "Motti", con capofila Bonata, verranno inviate alla Lista dal capofila le modalità previste per la raccolta ed elaborazione dei dati.
 - Per il Progetto "Itinerari gnomonici" affidato a Ferrarini (assente), lo stesso ha fatto sapere di avere inviato alla Lista primi esempi degli stessi, ma di ritenere molto utile la presenza di un altro coordinatore interessato a mandare avanti l'iniziativa con lui.
 - Per il Progetto "I quadranti solari nell'arte", con capofila Arnaldi, lo stesso attende di poter aggiungere, a quanto da lui già raccolto, altri numerosi contributi da parte di volonterosi segnalatori.
 - Per il Progetto "Operatori gnomonici del passato", con capofila Salucci, lo stesso ha raccolto a livello personale diversi dati e notizie e si riserva di chiedere quanto prima la collaborazione al progetto di altri interessati.
 - Per il Progetto "Didattica e informazione", affidato a Nicelli, è stato avviato un progetto relativo alla didattica della gnomonica nelle scuole elementari. Il capofila si farà vivo con richieste di collaborazioni.
 - Per il Progetto "Questionario", affidato a Arcari e Costamagna, gli stessi hanno diffuso sul posto una bozza di detto questionario e attendono osservazioni sui contenuti del testo distribuito.
 - Per il Progetto "Quadrati solari nell'antichità", di cui è promotore Azzarita, lo stesso lo ha illustrato ai presenti. Si tratta della promozione della valorizzazione (o almeno del censimento) dei moltissimi reperti archeologici di tipo gnomonico esistenti e spesso dimenticati nei musei italiani.

- Per il Progetto “Censimento programmi calcolo”, di cui è promotore Stucchi (assente), vi sono notizie di un certo rallentamento dopo i primi passi avviati dal capofila. Il censimento avrebbe dovuto essere ospitato sulle pagine di Internet di Arnaldi (e collegato ad uno, dello stesso tipo, già esistente sulle stesse pagine).

Bonata, coordinatore della Lista Gnomonicaitalia, ha sottoposto ai numerosi aderenti alla Lista presenti un quesito riguardante il suo funzionamento. Dopo apposita votazione è stato deciso, a maggioranza, che il sistema “automatico” di risposta ad eventuali messaggi indirizzati alla Lista rimanga quello in atto. Eventuali risposte a detti messaggi, di tipo “automatico”, saranno cioè indirizzati al mittente e non a tutti gli aderenti alla Lista. Naturalmente, chi risponde, potrà sempre indirizzare “manualmente” la sua risposta all’intera Lista.

In merito alla possibile sede dell’undicesimo Seminario previsto per la primavera del 2000, indicativamente 15 giorni prima della Pasqua, si sono ipotizzate tre ubicazioni: la zona immediatamente a sud di Roma dove esiste una struttura simile a quella che ha ospitato il nono Seminario di S. Felice del Benaco (referenti Catamo/Cappelletti), la zona del Lago Maggiore in Piemonte (referenti Tonello/Mosello), la zona di Lecce (referente D’Amico). I referenti sono invitati a inviare ad Azzarita proposte concrete entro i primi mesi del 2001. Non sono escluse naturalmente altre ubicazioni e proposte.

Ultimo tema trattato è stato quello della futura diffusione e distribuzione in Italia del Catalogo dei quadranti solari, curato da Del Favero e Garetti, di prossima pubblicazione da parte UAI e su cui Vanin, anche nella sua veste di presidente UAI appena scaduto, ha fornito alcune informazioni. Si pensa ad un prezzo di vendita attorno alle 40 000 £/copia, del tutto in linea con pubblicazioni della stessa mole, e a tirature iniziali fra le 500 e 1000 copie. Il volume sarà destinato prioritariamente da UAI alla vendita diretta agli gnomonisti italiani iscritti e non alla associazione (possibile previsione attorno alle 200-300 copie). Si può pensare poi anche alla distribuzione a tutti gli interessati attraverso altri canali (principali librerie scientifiche di grandi città, vendite per corrispondenza, etc.) anche se tali vie comportano costi di distribuzione molto elevati, attorno ai 2/3 del prezzo di copertina. Elemento molto importante per il successo anche economico del Catalogo, sarà la pubblicità da fare allo stesso, sopra tutto con recensioni su giornali e riviste di vario genere (astronomiche, di turismo, associazioni di comuni, etc.).

E’ stata anche esaminata la proposta di allegare ai fini promozionali al Catalogo un CD con un migliaio di immagini di quadranti rappresentativi delle varie regioni italiane. La stessa è stata tuttavia lasciata cadere in quanto, non si è trovato un possibile operatore responsabile in prima persona della predisposizione dello stesso CD, per i suoi costi, aggiuntivi a quelli del Catalogo e non previsti nel suo budget approvato a suo tempo da UAI e, infine, perché i tempi connessi a detta preparazione potrebbero far differire probabilmente di molti mesi l’uscita del Catalogo.

X SEMINARIO DI GNOMONICA

6-7-8 ottobre 2000

S.Benedetto del Tronto

ABSTRACTS DELLE RELAZIONI

AGNES LUCIANO: – RADIOGRAFIA DI UN RESTAURO – IL RICUPERO DEI QUADRANTI SOLARI SEICENTESCHI DEL LICEO GINNASIO U.FOSCOLO DI PAVIA

Vengono descritti in dettaglio il restauro pittorico di 3 dei 5 quadranti situati nel cortile grande del Liceo Classico U. Foscolo di Pavia ed il loro funzionale ricupero come orologi nonostante originari errori di tracciamento.

ALBERI AUBER PAOLO: – UNA “CENTINA” PER LO STILO

Il programma LNORAR5, ideato per progettare meridiane verticali declinati, consente di calcolare, automaticamente i dati di un sostegno per lo stilo da fissare in posizione univoca una volta tracciato il triangolo stilare sulla parete; è destinato ad essere tolto dopo la sistemazione dello stilo(sarebbe una...centina). Il sotto-programma edita il disegno dell'oggetto (in profilo), anche in diverse scale. Ci diverse possibilità di scelta, oltre che il diametro dello stilo, dei vari spessori, secondo il materiale che si vuole usare (legno, metallo ecc). Vengono proposti anche due metodi (da scegliersi secondo la necessità di precisione) per garantire la intersezione dell'asse dello stilo sul piano del quadrante.

ANSELMI RICCARDO: – APPLICAZIONI DEL METODO DI INTERSEZIONE

All'illustrazione del metodo segue una serie dimostrativa di immagini grafiche

ARNALDI MARIO: - OROLOGI SOLARI MEDIEVALI ESAPARTITI: INDAGINE SULLA LORO ORIGINE E SIGNIFICATO

Molti orologi solari medievali europei e italiani, con divisioni regolari, non mostrano le note partizioni per quattro, otto, o la classica suddivisione duodecimale. I tempi mostrati da questi manufatti sono solo sei, cioè in linea ogni due ore temporarie. Perché? Da dove proviene questa strana partizione che nulla ha a che fare con i tempi canonici conosciuti? Lo spostamento dei tempi di preghiera ne è la causa o un effetto? La lettura di fonti antiche e medievali può venirci in aiuto per comprendere aspetti della misura del tempo nell'Europa dei secoli XI e XVI.

AZZARITA FRANCESCO: - LA “MERIDIANA DEL PARCO” A BARI

Il relatore illustra il progetto di questa Meridiana monumentale collocata nel Parco due Giugno a Bari, le particolarità progettuali, costruttive e funzionali.

CATAMO MARIO: - DOPPIO FORO GNOMONICO A S. MARIA DEGLI ANGELI

In occasione dell'eclisse solare dell'11 Agosto 1999 l'Autore ha fotografato le diverse fasi del fenomeno sulla Meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli in Roma. Nell'occasione ha rilevato una sorprendente particolarità, costituita dall'esistenza di due fori gnomonici, uno orizzontale ed uno verticale, posizionati in modo da ottenere la sovrapposizione, peraltro non perfetta, di due immagini luminose. L'esistenza di due fori non è stata descritta dall'Autore della Meridiana, l'astronomo del '700 Francesco Bianchini, né dagli studiosi che hanno ampiamente descritto, anche in tempi recenti, la Meridiana.

CATAMO MARIO -CESARE LUCARINI: - OROLOGI SOLARI A DIFFRAZIONE

Gli autori hanno individuato le relazioni che intercorrono tra la riga di diffrazione della luce solare prodotta da un Compact Disc convenientemente graduato, orientato ed osservato e tre coordinate astronomiche del sole, azimuth angolo orario ed altezza; hanno utilizzato tali relazioni per costruire, senza gnomone e su un supporto del tutto nuovo in gnomonica diversi tipi di orologi solari.

CINTIO ALBERTO: - TECNICHE PER REALIZZARE UNA MERIDIANA

Dopo una breve introduzione a carattere filosofico sul tempo, la sua misura e il suo inarrestabile scorrere, l'A. illustra cinque diverse tecniche per realizzare una meridiana con preziosi consigli derivanti dalla sua lunga esperienza e precisamente: su lastra di marmo, su piastrelle di maiolica, in tondini di acciaio inox, con pittura a secco e infine su pannelli di poliuretano.

COVIELLO CLARA : - LA MERIDIANA DI GIORGIO

La Meridiana di Giorgio è un orologio solare che naturalmente si avvicina al moto apparente del Sole sulla volta celeste, poiché il piano del quadrante punta la stella Polare, così orientandolo con l'inclinazione giusta è un orologio che funziona in qualsiasi luogo della nostra Terra.

D'AMICO SERGIO: - METODICI FISICI PER L'ANALISI E LA DATAZIONE DI QUADRANTI SOLARI FISSI

Sono esaminate tre metodologie (Fluorescenza a raggi x, Riflettografia infrarossa ed ultravioletta, Termografia infrarossa) comunemente utilizzate in archeometria per analizzare e datare opere d'arte e reperti archeologici e sono discusse le possibili applicazioni di queste metodiche allo studio che precede il restauro ed il ripristino di antichi orologi solari fissi.

DEL FAVERO ENRICO: - IL CATALOGO DEI QUADRANTI SOLARI ITALIANI - LO "STATO DI AVANZAMENTO DEI LAVORI".

Il Consiglio Direttivo dell'UAI nella sua riunione del 18 marzo 2000 ha deciso la pubblicazione della prima edizione del Catalogo nazionale a stampa dei quadranti solari italiani, basato sul Censimento nazionale informatizzato AQS, giunto ormai a circa 12.000 quadranti. L'autore descrive lo "stato di avanzamento lavori" del Catalogo la cui preparazione avviene a cura sua e di Claudio Garetti.

FANTONI GIROLAMO: - OROLOGI SOLARI DELL'ANTICA GRECIA: I GLOBI DI PROSYMNA E DI MATELICA.

L'Autore esamina dettagliatamente e mette a confronto i due reperti evidenziandone similitudini e differenze.

FERRARI GIANNI: - CALENDARIO E MERIDIANE.

Vengono esaminati i fenomeni che subiscono variazioni, nello stesso giorno di anni successivi, dovute al nostro calendario e la loro influenza sugli orologi solari. Si conclude che gli errori che ne risultano sono quasi sempre di valore trascurabile anche se la loro entità dipende spesso dalle tabelle di valori medi utilizzate. In Appendice sono riportate nuove tabelle di valori medi

FERRARI GIANNI: - GNOMONE COSTITUITO DA PIU'LENTI.

Nella relazione viene affrontato lo studio ottico geometrico di un sistema di più lenti sottili e la possibilità di utilizzarlo come punto gnomonico di un orologio solare. Lo studio prende lo spunto dalla recente realizzazione, da parte dei dott. Catamo e Lucarini, di una meridiana presso l'Università "La Sapienza" di Roma utilizzando questo sistema ottico per intensificare l'immagine sul quadrante. In appendice si riporta uno studio matematico sulla immagine luminosa prodotta da un foro circolare.

FERRO MILONE FRANCESCO: - SUPERFICI "ISOTACHE", DESCRIZIONE DI UNA FAMIGLIA DI OROLOGI SOLARI

Ho chiamato superfici "isotache" le superfici sulla cui superficie l'ombra avanza sempre alla stessa velocità. Nelle più comuni lo stilo è posto sull'asse del cilindro, ma se ne possono costruire altre in cui lo stilo giace alle estremità della porzione cilindrica anziché sull'asse.

FLORA GIOVANNI: - LA LUCE NATURALE GNOMONICA APPLICATA ALLE COSTRUZIONI

Il tema della presente relazione si riferisce ad alcuni problemi, connessi alla progettazione edilizia, che riguardano l'ubicazione, l'orientamento, le distanze tra i fabbricati, la scelta e il dimensionamento degli oggetti e delle aperture di fori sulle pareti nei confronti dell'illuminazione naturale e dell'insolazione.

GIORGI ANTONIO: - UN NUOVO PROGRAMMA INFORMATICO PHOEBUS

L'Autore illustra le particolarità di un suo nuovo programma di calcolo e progettazione di orologi solari.

GUNELLA ALESSANDRO: - I QUADRANTI D'ALTEZZA DELLA FAMIGLIA DELLA COSIDDETTA "CAPPUCCINA".

In questo articolo l'autore, seguendo il suo solito indirizzo, si propone di individuare l'intuizione geometrica che ha originato la costruzione degli orologi di cui al titolo, e di spiegarne gli sviluppi.

LOVOTTI PIER GIUSEPPE: - APPLICAZIONE DEL METODO DI MONTECARLO ALLA GNOMONICA.

Per l'orologio solare orizzontale, sono ricavate con il metodo di Montecarlo, le sensibilità alle variazioni di alcuni dei più comuni fattori concernenti la fase costruttiva, fornendo dei grafici riassuntivi che evidenziano i punti critici.

LOVOTTI PIER GIUSEPPE: - VERSIONI TECNOLOGICHE DELL'OROLOGIO DELLE GIOVANI MARMOTTE.

Sono brevemente indicate alcune possibili realizzazioni tecnologiche dell'orologio solare detto delle Giovani Marmotte, presentato all'8° Seminario di Gnomonica.

LUCARINI CESARE - MARIO CATAMO: - MERIDIANA PER TRASPARENZA CON GNOMONE A LENTE TRIFOCALE.

Su una vetrata dell'Università di Roma "La Sapienza" gli Autori hanno costruito una Meridiana per trasparenza con gnomone a lente trifocale. Viene illustrato il procedimento di costruzione, dal calcolo al disegno, all'incisione su vetro, alla decorazione, al montaggio. Particolare attenzione è dedicata alla descrizione dello gnomone, costituito da una lente trifocale che concentra la luce indicante l'ora, migliorandone notevolmente la visione per trasparenza, insufficiente con i metodi tradizionali per le notevoli dimensioni della Meridiana. L'ora indicata è il Mezzogiorno TMEC.

MARIANESCHI EDMONDO: - PER UNA GRAMMATICA DELLA GNOMONICA

Viene proposta la costituzione di un gruppo di lavoro formato da gnomonisti aderenti alla Sezione Quadranti Solari dell'U.A.I. con lo scopo di rivedere, al fine di migliorare ed estendere, la nomenclatura, il glossario, le convinzioni usate nella gnomonica nazionale. Alcuni esempi dimostrano l'opportunità di questa iniziativa e la sua utilità specialmente per i giovani partecipanti.

MARIANESCHI EDMONDO: - GNOMONICA A QUMRAN

Tra le rovine della località essena di Qumran in Palestina è stato ritrovato nel 1954 uno strano oggetto di pietra, discoforme con solchi concentrici ed un foro assiale, che a distanza di quaranta anni dalla scoperta è stato interpretato da specialisti come uno strumento gnomonico capace di alcune rilevazioni astronomiche calendariali. E' l'unico esemplare mai rinvenuto sia in Palestina che altrove.

NICELLI ALBERTO: - SUL GLOBO DI MATELICA COME GNOMONE DI UN OROLOGIO ORIZZONTALE

Si propone un nuovo studio sul Globo di Matelica inteso come gnomone sferico per un orologio orizzontale a ore temporarie: è un'inedita interpretazione del reperto che spiega la lettura dei terminatori e lo scopo dei fori, sede di piccoli ornamenti in rilievo la cui ombra si proiettava su un tracciato orizzontale di linee orarie e calendariali. La trattazione si estende anche agli altri possibili orari, babilonico, italico e astronomico, e rappresenta quindi, a prescindere dalle ipotesi sul Globo, la descrizione di un completo orologio con l'ombra di una sfera.

PALTRINIERI GIOVANNI: - ORIENTAMENTI DELLE CHIESE ROMANICHE BOLOGNESI

Quale preambolo storico, si considerano i fondamentali aspetti dei tracciati etruschi e romani, riferiti agli impianti viari e alle costruzioni. Il cristianesimo ha fatto proprie alcune di queste regole, spesso legate al simbolismo solare che vede Gesù quale nuova Luce. In quest'ottica nel medioevo molte chiese vennero "giustamente orientate", cioè volte ad Oriente. Nella presente relazione vengono presi in considerazione gli orientamenti di un certo numero di chiese romaniche della città di Bologna e della sua periferia, dalla quale si traggono interessanti conclusioni.

RIGASSIO GIAN CARLO: - LA MISURAZIONE DEL TEMPO? Un gioco da ragazzi!

La gnomonica avrà sempre più la necessità di comunicare in un linguaggio compreso anche dai più piccoli. E' il senso di questo progetto che affronta la gnomonica e l'astronomia anche attraverso giochi, esperimenti e simulazioni per scoprire il trascorrere del tempo. Il video che sarà proiettato a supporto di questa relazione evidenzia gli ottimi risultati ottenuti con tutti i bambini delle Elementari (anche quelli della prima classe!) di Pragelato. Un paese in provincia di Torino, in cui esistono molti orologi solari (anche di Zarbula) che ha deciso di riscoprire i Q.S.

VANIN GABRIELE: -LO GNOMONE DEL TOSCANELLI NEL DUOMO DI FIRENZE

Il 21 giugno 2000 l'autore ha assistito alla conferenza-rappresentazione che ha avuto luogo nel Duomo di S. Maria del Fiore di Firenze. Nella lanterna della cupola del Duomo il grande cosmografo fiorentino Paolo Dal Pozzo Toscanelli, nel 1475, fece installare un foro gnomonico, il più grande del mondo, con i suoi 99 m di altezza, con lo scopo di effettuare fondamentali misure astronomiche. Il foro produce, intorno al momento del transito solare, un'immagine della nostra stella di circa mezzo metro di diametro sul pavimento della cattedrale. Qui, oltre ai segni solstiziali (un disco più piccolo e uno più grande, più o meno delle stesse dimensioni di quello solare, fatti installare da Toscanelli e da un ignoto nel 1510), si trova una linea meridiana, limitata però ai mesi da maggio a luglio, l'unico periodo in cui, date le enormi dimensioni, si può assistere al passaggio del Sole nel Duomo, fatta incidere da Leonardo Ximenes nel 1754.

ZUCCALA' GIUSEPPE: - OROLOGI SOLARI SU SUPERFICI CILINDRICHE CONCAVE E CONVESSE

Sono esaminati tipi di orologi solari calcolati e realizzati su quadranti cilindrici concavi e convessi, e con gnomoni non convenzionali.

ZUCCALA' GIUSEPPE: - MERKHET VECCHI E NUOVI

Sono esaminati tipi di orologi solari di altezza antichissimi in una versione moderna ed in una loro originale e nuova reinterpretazione.

**RADIOGRAFIA DI UN RESTAURO
IL RICUPERO DEI QUADRANTI SOLARI SEICENTESCHI DEL LICEO
GINNASIO U. FOSCOLO DI PAVIA
LUCIANO AGNES**

ESTRATTO

Vengono descritti in dettaglio il restauro pittorico di 3 dei 5 quadranti situati nel cortile grande del Liceo Classico U. Foscolo di Pavia e il loro funzionale recupero come orologi nonostante originari errori di tracciamento.

Premessa

In occasione del precedente IX° Seminario Nazionale di Gnomonica tenutosi a S. Felice del Benaco nel marzo 1999 ero intervenuto con una relazione dal titolo "GLI OROLOGI SOLARI DEL LICEO GINNASIO U. FOSCOLO DI PAVIA-UNA PROPOSTA PER IL LORO RESTAURO". L'occasione di quel nostro incontro mi fu grandemente propizia, infatti pochi giorni dopo l'Amministrazione Provinciale di Pavia decise di dar corso a una cospicua manutenzione dell'edificio partendo dai tetti e quindi cominciando a predisporre un grande ponteggio sui 4 lati del cortile all'altezza delle meridiane ed oltre.

L'associazione degli ex allievi del Foscolo (ASUF), alla quale attivamente partecipo, non poteva lasciarsi scappare una così ghiotta occasione, voleva dire insomma avere a disposizione un comodissimo ponteggio gratuitamente e per parecchio tempo. La "questua" per raccogliere i fondi necessari per il restauro partì immediatamente in città presso banche, enti ed ex allievi; nel giro di una settimana si raccolsero i 15 milioni di lire necessari per il ripristino di 3 dei 5 orologi solari. Il restauro pittorico, dopo regolare gara e con il controllo della Soprintendenza per i Beni Ambientali e architettonici di Milano, fu affidato ad un'impresa milanese di provata esperienza mentre il ripristino del funzionamento l'ho assunto io in prima persona. I lavori iniziarono nell'aprile 1999 e terminarono nel maggio dello stesso anno con grande soddisfazione degli ex allievi, della scuola, delle autorità e dei benefattori. Per comodità del lettore, che per i dettagli può ricorrere al mio citato intervento durante il precedente Seminario, riassumo brevemente le caratteristiche degli orologi in questione.

Il cortile grande della scuola che nel Cinquecento ospitava il convento dei Barnabiti custodisce un piccolo patrimonio artistico e scientifico: si tratta di cinque orologi solari affrescati, collocati su tre pareti del cortile sopra il colonnato. Due, uno ad ore italiane e uno ad ore francesi, trovano posto sulla parete a sud, altri due pure ad ore italiane e

francesi, quest'ultimo molto deteriorato, sulla parete che guarda il tramonto e l'ultimo illeggibile sulla parete rivolta al sorgere del sole.

Questo ampio ciclo di affreschi, ricco di suggestive rappresentazioni bibliche e di fastose quadrature barocche trova la sua collocazione temporale nel Seicento ed in particolare il quadrante nel quale è ancora ben visibile la rappresentazione della cacciata di Adamo ed Eva dal paradiso terrestre riporta in un festone la data 1663. Purtroppo lo stato di conservazione degli affreschi era alquanto degradato e risultavano mancanti tutti gli gnomoni e la traccia dei loro punti di applicazione.

Si è deciso di intervenire su tre, ancora decifrabili, dei cinque quadranti e cioè i due sulla parete a sud e il terzo ad ore italiane sulla parete ad ovest.

Metodologia del restauro

Quella attuale, ora applicata a Pavia, con puntiglio e insieme con respiro interpretativo, poggia sul principio di una restituzione il più possibile completa dell'opera originale, senza tuttavia un'esasperata cancellazione di eventuali immagini sovrapposte e applicando leggere integrazioni solo là dove le lacune a vista apparirebbero deturpanti. E' una metodologia rigorosa, poggiata su consapevolezza e mezzi tecnici di preziosa qualità ma attenta anche alla leggibilità dell'immagine dunque alla comunicativa iconografica e formale.

Stato di conservazione degli affreschi

La presenza di efflorescenze biancastre, trovate sugli intonaci affrescati, è un indizio di un processo di deterioramento chimico innescato dalla reazione di tre componenti:

- gli stessi materiali costitutivi,
- l'acqua,
- i composti inquinanti presenti nell'acqua

stessa o nell'atmosfera

I prodotti di questo deterioramento sono essenzialmente solfati che veicolati dall'acqua hanno contribuito alla decoesione, in alcune zone, del

primo strato di pigmento pittorico, in altre del distacco dell'intonaco dall'arriccio. Il processo ha quindi due effetti negativi che abbiamo riscontrato sugli affreschi:

- il primo è la formazione di una patina biancastra che tende a coprire il colore,

- il secondo è l'impoverimento degli strati più interni che perdono una parte del loro carbonato di calcio con conseguente dissesto strutturale.

La pericolosità dei solfati non consiste soltanto nel fatto che essi sono veicolati dall'acqua e che quindi possono sciogliersi e riprecipitare a seconda della quantità di umidità presente nel muro ma anche e soprattutto nel fatto che essi possono esistere in stati di idratazione diversi; essi possono cioè, in condizioni termo-igrometriche particolari, cristallizzare con diverse quantità d'acqua a seconda della temperatura e dell'umidità relativa. Quando, per l'aumento dell'umidità relativa, si ha il fenomeno dell'idratazione, il sale aumenta di volume esercitando una pressione sulle pareti dei capillari presenti nella struttura porosa del muro e dell'intonaco causando dirompenti microesplosioni dell'intonaco, riscontrate soprattutto nella meridiana raffigurante la cacciata di Adamo ed Eva.

Il restauro degli affreschi

Dopo aver accertato il tipo e le cause del degrado, il primo intervento diretto sulla materia dell'opera è consistito nel consolidamento di intonaco staccato con iniezioni di una malta inorganica addizionata con una carica ad adeguata granulometria. Successivamente è stata impostata la pulitura col seguente procedimento. Dapprima si è eseguita una leggera pulitura mediante morbidi pennelli per rimuovere residui di polvere, terra e quant'altro si sia depositato superficialmente sul colore quindi è seguita una prima operazione detergente mediante acqua distillata e tampone spugnoso per cercare di capire e di mettere in evidenza le zone di colore da trattare in seguito. Il ricorso all'impiego di impacchi è risultato indispensabile al fine di ammorbidire i films insolubili di materiale da asportare. Il solvente è il carbonato di ammonio che nella maggior parte dei casi permette una differenziazione del materiale da rimuovere rispetto al supporto pittorico di base: il materiale organico, sotto la sua azione si ammorbidisce e rigonfia e in parte viene assorbito dal supporto usato per l'impacco, il resto può essere asportato agendo meccanicamente con batuffoli di cotone o spugne imbevuti del reagente. La scelta del carbonato di ammonio è giustificata dalle seguenti considerazioni: l'eccesso di reattivo è facilmente eliminabile perché si trasforma in composti gassosi tanto che, dopo un tempo relativamente breve, di tale sostanza non rimane traccia sulla pittura. L'impacco di ammonio si è rivelato estremamente utile in quanto gli affreschi presentavano numerosi sollevamenti di colore causati da dirompenze di solfato di calcio. Il carbonato di ammonio infatti reagisce dando luogo

al solubile solfato di ammonio e la lieve pressione dell'impacco ha riadagiato le lamine del film pittorico che si sono sollevate dal supporto. Le vecchie stuccature e bordature in gesso e cemento sono state rimosse meccanicamente e risarcite con una nuova stesura di calce e sabbia. Tutti i frammenti di colore ritrovati con la pulitura come i segni zodiacali, le linee orarie e i motivi decorativi sono stati evidenziati con una leggera integrazione pittorica mediante velature con colori ad acquarello. Una volta definiti scientificamente gli orologi solari il restauro è stato ultimato con l'innesto degli gnomoni e con una stesura protettiva degli intonaci mediante una resina metacrilica applicata a spruzzo.

Il restauro scientifico dei quadranti

L'impegno è stato per me abbastanza gravoso sia per la condizione di avanzato degrado del disegno sia per la mancanza degli ortostili e persino delle tracce dei loro punti di applicazione. Per tutti e tre i quadranti sottoposti a restauro, due ad ore italiane e uno ad ore francesi ho eseguito i calcoli completi, riportando le tracce orarie e le rette equinoziali su grandi fogli in scala naturale. Il confronto con le tracce originarie rimaste è risultato piuttosto deludente. Una delle discrepanze più eclatanti è rappresentata dal fatto che le due rette equinoziali dei due quadranti ospitati sulla stessa parete rivolta a quasi sud hanno un'inclinazione diversa 4° e 8° (già questo è un errore palese) e per giunta sono entrambe sbagliate al confronto di un'inclinazione calcolata di $16^\circ 30'$. Durante la fase di pulizia dell'affresco sono comparse tracce di ripensamento sia per le rette orarie che per le equinoziali che sarebbero state comunque sbagliate. E' interessante notare che per il quadrante ad ore francesi si sono notate sottotracce confuse forse di ore babilonesi. Anche il quadrante ad ore italiane (Adamo ed Eva) sulla parete rivolta al tramonto non è esente da errori: la linea equinoziale mostra un'inclinazione sull'orizzontale di 55° mentre alla latitudine di Pavia questa non può superare i 45° e dal calcolo sono risultati $43^\circ 30'$. Come si può ben vedere diverse mani e in epoche successive si sono alternate su quei quadranti dimostrando cognizione astronomiche e geometriche al di sotto di quanto ci si potrebbe aspettare dai colti Barnabiti di quell'epoca. Tutto resta pertanto di difficile comprensione e giustificazione. Il posizionamento e la lunghezza degli ortostili, sono stati definiti seguendo un logico ed accettabile compromesso.

Come precedentemente esposto, l'attuale interpretazione filologica del restauro è orientata verso interventi decisamente rispettosi dell'esistente e quindi la struttura dei quadranti è rimasta tale e quale seppure integrata delle parti mancanti delle tracce orarie, delle numerazioni e dei segni zodiacali.

In conclusione il restauro ha riportato gli affreschi quasi al loro primitivo splendore e il recupero come orologi ne ha accresciuto l'interesse e il fascino.



*Orologio ad ore italiane
parato rivolto ad ovest
prima e dopo
il restauro*



UNA "CENTINA" PER LO STILO PAOLO ALBERI AUBER

ESTRATTO

Il programma LNORAR5, ideato per progettare meridiane verticali declinanti, consente di calcolare, automaticamente i dati di un sostegno per lo stilo da fissare in posizione univoca una volta tracciato il triangolo stilare sulla parete; e' destinato ad essere tolto dopo la sistemazione dello stilo (sarebbe una...centina). Il sotto-programma edita il disegno dell'oggetto (in profilo), anche in diverse scale. Ci sono diverse possibilità di scelta, oltre che il diametro dello stilo, dei vari spessori, secondo il materiale che si vuol usare (legno, metallo ecc.). Vengono proposti anche due metodi (da scegliersi secondo la necessita' di precisione) per garantire la intersezione dell'asse dello stilo sul piano del quadrante.

Non e' da molto tempo che mi occupo di gnomonica, ma, anche consultando pubblicazioni datate, non ho trovato nulla che riguardasse i problemi pratici connessi con il corretto posizionamento dello stilo su un quadrante solare.

Ogni gnomonista dispone, infatti, di un suo metodo collaudato per fare in modo che, sia in un contesto di meridiana nuova sia in caso di restauro, le coordinate per il posizionamento del punto proiettante corrispondano a quelle di progetto: solo così il quadrante solare segnerà le ore correttamente, oltre che consentire quell'appagamento estetico, divulgativo...che noi tutti ben conosciamo.

-Gnomonica e divulgazione

L'intento di questa proposta, quindi, non e' quello di far deviare i gnomonisti dalla "retta via" della loro esperienza personale: la mia proposta, al contrario, vale solo in quanto, per il contesto particolare, per la mancanza di esperienza di un gnomonista "neofita" o per il desiderio di eliminare ogni possibilità d'errore si desidera applicare una procedura univoca, semplice, aiutata dal computer (computer aided...si direbbe oggi).

Il presupposto dell'impiego di questa procedura e' quello di offrire all'utente finale, ad esempio il profano che legge l'ora sul nostro quadrante, la possibilità di poter confrontare l'ora fornita dall'ombra dello stilo, una volta applicate alcune correzioni, con l'ora dei nostri orologi.

A questo punto, pero', occorre fare una premessa: tutti sappiamo che e' in atto un curioso trend di grande sviluppo dell'interesse per la gnomonica, da parte di appassionati e non (intendo dire: non gnomonisti)...di ciò tutti noi ci rallegriamo perchè in questo modo ci sentiamo in qualche modo, protagonisti, in un processo di rivivificazione di una scienza antica e affascinante. Se vogliamo che questo processo non trovi intoppi nella sensibilità corrente (l'uomo di cultura, l'astrofilo, il curioso e basta) occorre che offriamo, per quanto ci e' possibile, la risorsa di cui sopra: leggere l'ora TMEC sui quadranti solari di nuova costruzione (su quelli antichi il discorso, ovviamente non vale), ovvero sia, detto meglio, permettere che il processo mentale che trasforma la lettura dell'ombra, in tutta la sua

lunghezza, che e' giocoforza una lettura di **Ora Solare Vera**, in un numero che corrisponda al TMEC, sia il più semplice ed univoco possibile.

Molto spesso questa chance viene offerta grazie ad una lemniscata, disegnata in corrispondenza del mezzogiorno...tutti sappiamo pero' che la lemniscata, che sarebbe di difficile lettura persino per un gnomonista esperto, richiede tanti e complessi calcoli di valutazione "analogica", di interpolazione ecc. Spesso, addirittura, e lodevolmente, vengono tracciate le "curve" orarie dell'ora media, in altri casi, ancor più lodevoli, il gnomonista sente l'esigenza di separare il tracciato autunno-inverno da quello primavera-estate per evitare l'ambiguità fra le stagioni. Lo sforzo, da parte di questi gnomonisti di rendere accettabile, ed esteticamente gradevole questo approccio divulgativo, e', nella maggior parte dei casi, coronata da successo...cioè che non si potrà, in questi casi, mai ottenere e' la semplicità, nel rispetto della tradizione, delle **Linee orarie veramente... rettilinee**. Infatti, un aspetto da non trascurare, optando per le "linee orarie"...curvilinee, e' che l'ora verrà data dalla **punta** dello stilo e non da tutta l'ombra: conseguenza questa non facile da accettare, considerando che l'umanità ci ha messo dei secoli (millenni) per scoprire lo... stilo polare.

Un modo di rendere meno ostico il calcolo del Tempo Medio e' quello di tracciare, le linee diurne, una per ogni decade circa (ad esempio), indicando per ognuna di esse il valore dell'equazione del tempo (le ore 12 saranno quelle del fuso), secondo la stagione in corso (Fig.1). Questo espediente, e' ovvio, presenta diversi problemi, tecnici ed estetici, probabilmente tutti risolvibili, ma questo...e' un altro discorso. Peraltro, l'obiettivo di posizionare lo stilo in modo conforme ai dati di progetto va perseguito, penso, in ogni caso, non fosse altro che per garantire la verticalità dell'ombra al mezzogiorno solare vero.

-Fissare due punti e bloccare lo stilo

Occorre subito precisare che il metodo e' applicabile solo al caso di uno **stilo a sezione circolare dotato di foro gnomonico**; dato che questo tipo di stilo e' molto diffuso, e, tutto sommato, anche consigliabile, il

X Seminario Nazionale di Gnomonica UNA "CENTINA" PER LO STILO

metodo risulta, in pratica, applicabile, nello stragrande numero di casi.

Il metodo proposto si basa sull'idea di bloccare preventivamente, in modo provvisorio, lo stilo fissando due suoi punti:

1-il punto proiettante: se vogliamo, per la precisione, sarebbe l'intersezione dell'asse dello stilo con l'asse del cilindro cavo, o del doppio cono cavo, che rappresenta il foro gnomonico; il contorno del punto proiettante avrà, secondo il gradimento, a forma di un sole radiante o altro

2-l'intersezione dell'asse dello stilo con il piano del quadrante

In seguito si predispone una staffa fissa che però non ha un contatto diretto con lo stilo, ma ne è separato da un certo spazio circostante. Questo spazio va riempito con un materiale disponibile in commercio da qualche tempo: una resina indurente a due componenti, la quale ha il compito, di fissare lo stilo in modo definitivo, una volta che sia divenuta rigida e compatta; trattandosi di un liquido (la resina), al momento in cui cola, essa si deposita uniformemente intorno allo stilo e non provoca deformazioni elastiche, le quali, altrimenti, non potrebbero essere evitate a causa della intrinseca *iperstaticità* del sistema, mantenendo così la posizione assunta dallo stilo grazie alla centina ed alla posizione obbligata alla base. La Fig.2. offre un quadro d'insieme, in cui i vari segmenti che individuano il profilo della centina vengono quotati tramite la loro lunghezza (opzione "centina per lo stilo, SPIGOLI")

-Una centina per lo stilo

Tutti sanno cos'è una centina. si tratta di una costruzione provvisoria, usata nella costruzione di ponti, in passato ma ancor oggi, che permette di procedere nella costruzione, fintanto che i vari elementi non sono tutti collegati in modo da essere auto-portanti; una volta completato il lavoro la centina viene tolta.

Una sotto-procedura del programma "LNORAR5" (applicazione VisualBasic) consente di progettare nei minimi particolari una centina per lo stilo polare della vostra meridiana: naturalmente dovete inserire tutti i dati della vostra meridiana piana verticale (declinante) nella sequenza richiesta:

-latitudine

-longitudine

-lunghezza dello stilo polare

-declinazione gnomonica della parete

il programma vi consente, se lo volete, di calcolare tutti i dati della vostra meridiana, angoli linee orarie, lunghezze delle ombre alle ore intere ecc. In più, cliccando l'opzione "triangolo stilare" troverete la possibilità di disegnare sullo schermo (e poi stampare,

S. Benedetto del Tronto - 6,7,8/10/2000
PAOLO ALBERI AUBER

si capisce) i due triangoli necessari per il posizionamento dello stilo polare.

Scegliendo "centina per lo stilo -XY" potrete disegnare (e poi stampare - Fig.3), con un semplice click, il profilo laterale dell'oggetto, in cui ogni punto è individuato dalle sue coordinate X,Y (la sezione di fronte, evidentemente non ha importanza...l'oggetto sarà di sezione adeguata al materiale usato, legno, metallo...); dovete, preventivamente, scegliere le varie specifiche che individuano la vostra centina:

-diametro dello stilo polare, sul disegno: "Ds"

-diametro del foro sulla centina (lo stesso che si ritrova sullo stilo); "Df"

-lo spessore (sul disegno: "S") che secondo voi dovrà avere la sporgenza abbondante rispetto il punto proiettante; ad esempio...se la centina ha da essere in legno, piuttosto che in metallo, lo spessore sarà più grosso!

-la quantità che volete debba sporgere rispetto il punto proiettante teorico (abbondanza, sul disegno: "A") al di là della lunghezza dello stilo strettamente necessaria; se non aggiungete almeno un po' d' "abbondanza" non avrete "carne" per un foro da passare con un bullone!

-il rialzo (sul disegno "R"), lo spessore della basetta che sostiene la centina in posizione e consente di fissarla al muro

-lo spazio che dovrà essere disponibile per poter inserire, dal di sotto, il dado di un bullone, o la sua testa (libertà - freedom, sul disegno "FR")

- non è necessario che lo stilo appoggi sulla centina per tutta la sua lunghezza (sarebbe l'ipotenusa del triangolo sotto-stilare); basta una zona d'appoggio limitata, intorno al foro... sarà quindi sufficiente una porzione verticale del triangolo (sufficienza, "SU")

-il fattore di scala, che vi consentirà di tracciare l'oggetto, se lo volete, in scala anche diversa da quella naturale (1:1)

Sicuramente, nella progettazione della meridiana, avrete individuato, sul piano, la proiezione sul piano del punto proiettante (viene un po' brutto da dire, sarà meglio: base dell'ortostilo): appoggiando, o, peggio, fissando, come effettivamente va fatto, la centina sul piano con dei tasselli, questo punto sparirebbe. Conviene quindi tracciare la sostilare, che andrà comunque prolungata quanto basta, e inoltre una retta ad essa perpendicolare, passante per il punto base dell'ortostilo, abbastanza lunga perché fuoriesca dalla basetta della vostra centina, una volta che essa sia fissata. L'incrocio della sostilare con la sua

perpendicolare ora tracciata individueranno, comunque, in qualsiasi fase successiva(un ripensamento, un controllo) la base dell'ortostilo.

Sul bordo laterale della basetta della centina dovreste, quindi, tracciare quattro tacche verticali, sufficientemente visibili:

-due in corrispondenza della sostilare, in pratica si trovano sul piano di simmetria dell'oggetto, per queste non occorre nessun calcolo .

-due vanno tracciate nella posizione **che il disegno in scala vi suggerisce**, seguendo verso il basso la verticale che parte dal punto proiettante; questa verticale e' ,ovviamente, accompagnata dalla dicitura "ortostilo";

Posizionando la basetta della centina sulla parete avrete cura che ,a due a due, le quattro tacche vadano a coincidere con la sostilare e la sua perpendicolare. In questo modo se il vostro stilo sarà dotato di un foro per il passaggio del bullone(e anche per il passaggio dei raggi solari, una volta che lo stilo ha assunto la sua funzione) e se la centina sarà fissata sul piano(ad esempio con dei tasselli) potrete **fissare lo stilo alla centina con il bullone**, garantendo così

-la posizione esatta del **punto proiettante**(il centro del foro sullo stilo, che giace sul suo asse)

-l'**inclinazione dello stilo** come da progetto, o, più correttamente, l'appartenenza dell'asse dello stilo ad un piano che e' inclinato ,rispetto il piano del quadrante solare, di un angolo pari all'altezza sostilare.

Desidero sottolineare, che ,come e' ovvio, la trigonometria alla base di questo "progetto" e' banale...meno banale e', forse, il poter disporre di questi dati e disegni in modo immediato, univoco, privo d'errori.

-Il punto d'incontro dell'asse dello stilo con il piano del quadrante

Per garantire, a questo punto, l'esatto posizionamento dello stilo ,si potrebbe ricercare la complanarità dell'asse dello stilo con il piano di simmetria della centina. Al contrario e' più conveniente individuare, sempre con due righe ,a matita, il punto d'incontro dell'asse dello stilo con il piano del quadrante: esse saranno, si capisce, abbastanza lunghe da garantire la loro presenza sul quadrante anche quando verrà praticato il foro per alloggiare lo stilo all'interno del muro(o del marmo ecc).Una di queste due righe sarà sempre la sostilare, l'altra la sua perpendicolare.

Per posizionare lo stilo ci occorrerà ora una "mascherina" in acetato(o altro materiale trasparente!),

su cui andrebbe ritagliato un foro che riproduca l'ellisse d'intersezione dello stilo con il piano del quadrante..

Il tasto "ELLISSE" ci permette di disegnare su un foglio di acetato ,questo ellisse in scala 1:1 (Fig.4), completo dei suoi assi di simmetria .Ritagliando con una certa attenzione l'ellisse disporremo di una adeguata mascherina (trasparente) che, una volta scavato il "buco" che accoglierà lo stilo alla sua base, potrà venir posizionata sul piano tramite un nastro adesivo (quello da carrozziere e' l'ideale perchè si toglie facilmente): esso ci permetterà di non smarrire il punto esatto in cui lo stesso stilo deve incontrare il piano.

Potrete obiettare che ,in questa procedura c'è un po' di eccesso di vincoli : niente male, volendo, per verificare che la centina sia stata eseguita e posizionata correttamente(i suoi calcoli ,al contrario, sono "computer aided" e quindi non possono essere soggetti ad errore).

-Il sostegno definitivo

A questo punto entra in gioco il "sostegno dello stilo" (o staffa), un oggetto (fig.5),dotato di basetta o altro metodo di fissaggio definitivo al quadrante, caratterizzato da una specie di canaletta inclinata sulla basetta dello stesso angolo dello stilo; la staffa dovrà rispondere anche ai seguenti (semplici) requisiti:

-dev'essere abbastanza larga da alloggiare lo stilo **ma senza contatto diretto**

-deve essere di materiale non deperibile come lo stilo (es: acciaio inox)

-e' opportuno che sia dotata all'interno di qualche sporgenza in modo che la resina bi-componente liquida che vi verrà versata possa fare sufficiente presa, una volta che si consoliderà

-dovrà essere dotata di due "tappi" mobili , forati e scorrevoli sullo stilo, che al momento opportuno impediranno alla resina di fuoriuscire dalla sua sede; e' necessario anche un "tappo" per chiudere la vaschetta dall'alto, altrimenti, essendo la vaschetta posizionata in assetto non orizzontale, la resina tenderà a debordare (occorre sottolineare sin d'ora che questo piccolo inconveniente non e' eliminabile : più la resina e' fluida, migliore sarà il risultato di tutta la procedura).

Il tutto, a gradimento del progettista, potrà essere sagomato in modo da garantire l'effetto estetico che si desidera.

Il "sostegno dello stilo" (o staffa) andrà fissato al quadrante (muro o marmo che dir si voglia) in modo che lo stilo passi in mezzo alla canaletta ... vi dovrà essere spazio da tutte le parti e non vi dovrà

essere contatto. La **fig.6** offre una vista d'assieme, prima del versamento della resina.

Una volta preparata la "resina bi-componente", essa verrà versata nella sua vaschetta e la riempirà uniformemente. Nel versare la resina (**fig.7**) occorrerà essere molto accorti: la resina dev'essere versata immediatamente dopo la sua preparazione, in modo da essere più "liquida" possibile (compatibilmente con la capacità della vaschetta di trattenerla); inoltre nel versare non dovrà essere "forzata" in alcun modo per evitare di procurare spinte al sistema "stilo-centina-foro sul piano". Questo, forse è il punto più delicato della procedura, perché anche la più piccola "spinta" tenderebbe a deformare il sistema "stilo-centina-foro sul piano" e, di conseguenza, tale deformazione, una volta tolta la centina, tenderebbe a rilasciarsi provocando così un infausto spostamento del punto proiettante dal punto teorico che era previsto dai calcoli.

L'uso di una resina molto "liquida" e, forse, il segreto per la buona riuscita della procedura e converrà procurarsi i vasi separati dei due componenti in modo da poterli dosare nelle proporzioni corrette (seguendo i consigli del fabbricante); poco male se il consolidamento della resina avverrà in mezz'ora piuttosto che in 5 minuti quando poi avrete ottenuto il seguente risultato: **il vostro quadrante solare spaccherà il minuto!**

Occorre segnalare che le confezioni di "metallo liquido" a due tubetti che si trovano nei negozi del "fai da te" non sono adatte a questo scopo perché già troppo dense nel momento della preparazione.

-Fase conclusiva

A questo punto, dopo aver atteso il tempo sufficiente perché la resina si indurisca perfettamente (**Fig.8**), potrete

-svitare delicatamente il bullone che blocca la centina

-eliminare, con cautela, i tasselli che bloccano la centina al muro e toglierla; la conserverete per ogni occasione futura, in caso di necessità e, volendo, come un "trofeo" della vostra realizzazione

-tagliare con una forbici il foglio di acetato e toglierlo;

-riempire di stucco o altro materiale il foro lasciato, ora, libero dal foglio di acetato (nessun pericolo, ormai, di spostare inavvertitamente il punto proiettante perché la staffa tiene bloccato lo stilo).

Se siete ben sicuri di tutta la procedura le righe, in matita, che sono state tracciate per posizionare correttamente centina e traccia ellittica in acetato possono venir cancellate; altrimenti lasciatele lì finché non avrete raggiunto la tranquillità del risultato.

Concludendo, dato che il contatto dello stilo con la parete è garantito

-dalla staffa riempita di resina oramai irrigidita

-dal materiale edizio che blocca la base dello stilo

la vostra meridiana potrà affrontare tutti gli inconvenienti che, con il trascorrere del tempo, tipicamente diminuiscono la durata di uno stilo metallico:

- 1) la diversità del coefficiente di dilatazione termica fra materiale edile e il materiale ferroso dello stilo tipicamente causa di "scorrimento" reciproco dei due materiali e, quindi, alla lunga, di instabilità
- 2) la spinta del vento,
- 3) il contatto, più o meno aggressivo, da parte di volatili di diverse stazze ecc. ecc.

-Il massimo della precisione

Un modo per rendere la procedura ancor più precisa è quello di impiegare, al posto del "foro sul foglio di acetato" un sistema più univoco e rigido per garantire l'intersezione dell'asse dello stilo nel punto esatto del piano del quadrante.

Si tratta del sistema che è stato impiegato per la meridiana (**fig.9**) su lastra di marmo sistemata sulla parete SUD-OVEST del nuovo Osservatorio Astronomico "internet-comandato" dell'Associazione Astronomica Cortina di Col Drusciè (Cortina d'Ampezzo) (*).

Una sede cilindrica in ottone accoglie un cilindro girevole: su di esso viene ricavato un perno che obbliga l'asse dello stilo ad incontrare il piano del quadrante nel punto pre-determinato quando si fissa il cilindro-sede sul quadrante stesso.

In questo modo ci sarà più "iperstaticità" ma, proprio per questo, dato che, alla fine, chi assicura il blocco di tutto quanto è la resina, anche maggior precisione.

Se il quadrante solare ha da essere un "orologio solare" ed è proprio questo servizio che la gnomonica ha offerto, nei secoli, (oltre a tante altre cose...), ebbene, in qualunque momento della giornata sempreché i raggi del sole non siano avari, il profano, il dilettante di astronomia, il semplice curioso, debbono poter trovare risposta, all'ovvio quesito

che ora è ?

(per me che sono un uomo del XXI secolo)

non solo, ma anche di poter verificare, che la risposta del nostro quadrante sia conforme allo "Swatch" portato al polso.

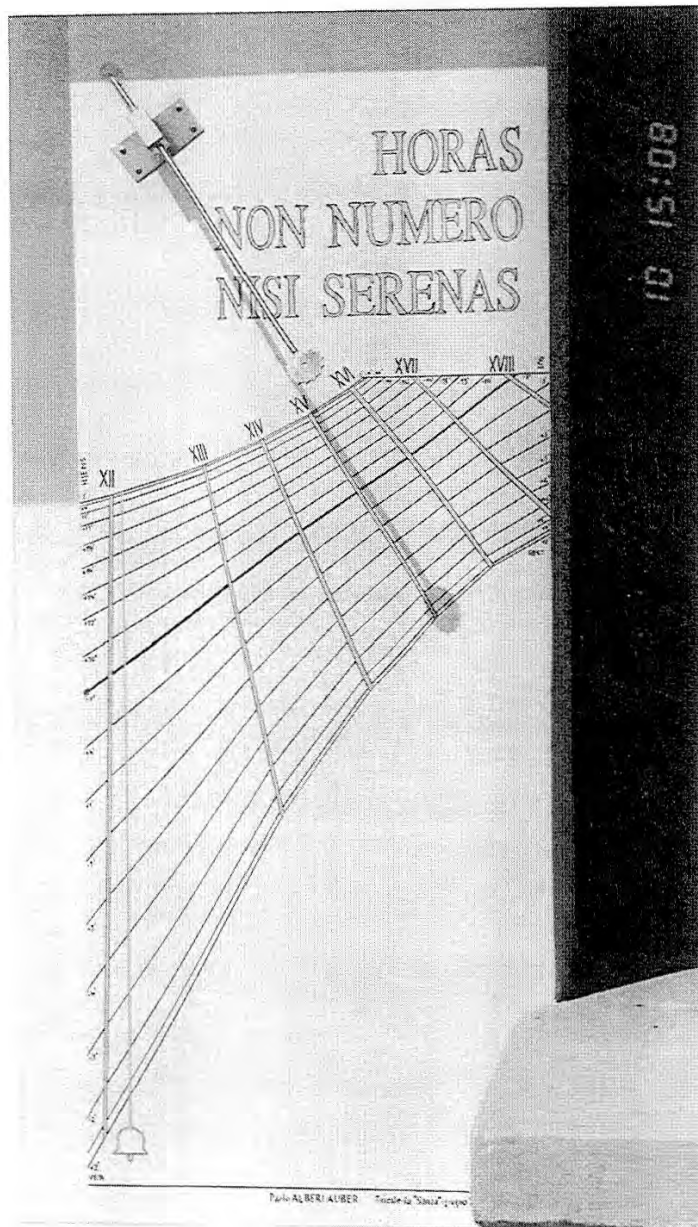
La meridiana di Col Drusciè a Cortina d'Ampezzo, consente questo percorso divulgativo in modo semplice ed univoco: l'ombra tocca la linea oraria delle 10 (le 11 in estate) ...seguendo la linea diurna verso destra (estate) si trova la correzione +5'...le 11:05 e'

X Seminario Nazionale di Gnomonica
UNA "CENTINA" PER LO STILO

S. Benedetto del Tronto - 6,7,8/10/2000
PAOLO ALBERI AUBER

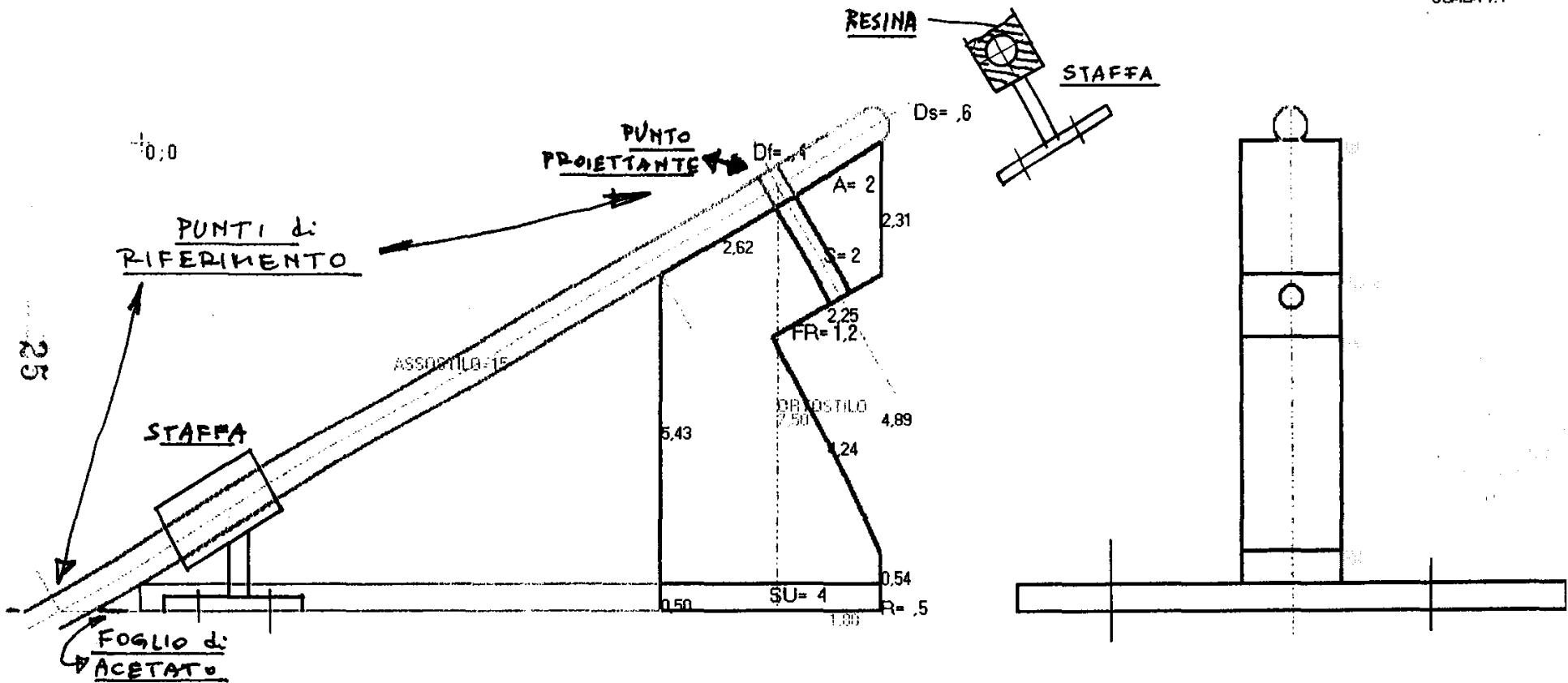
proprio l'ora esatta del "dorso data e ora" della
macchina fotografica.

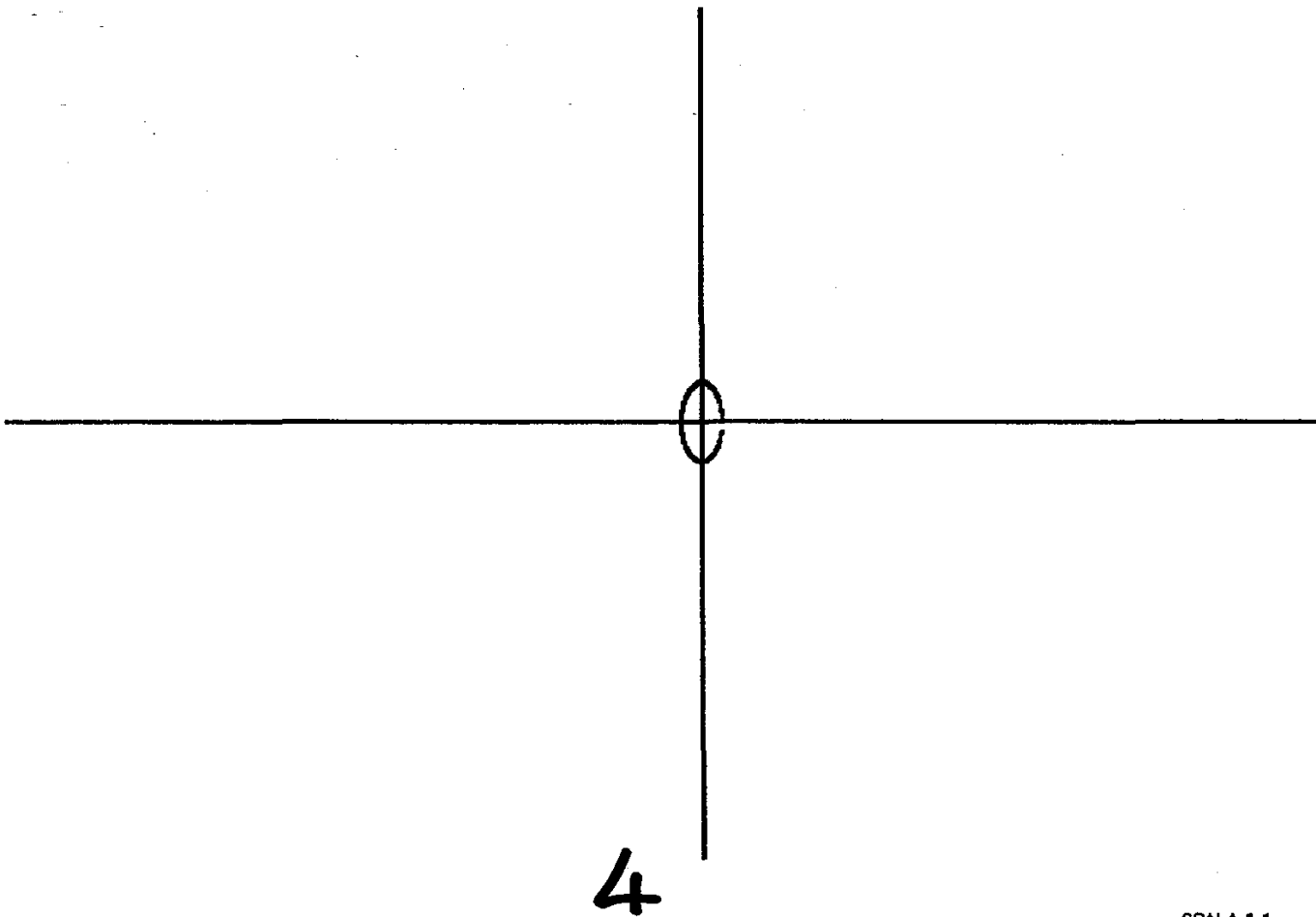
(*)- la parete SUD-EST ospita la bellissima meridiana
di un altro membro dell'Associazione: Rosa Casanova



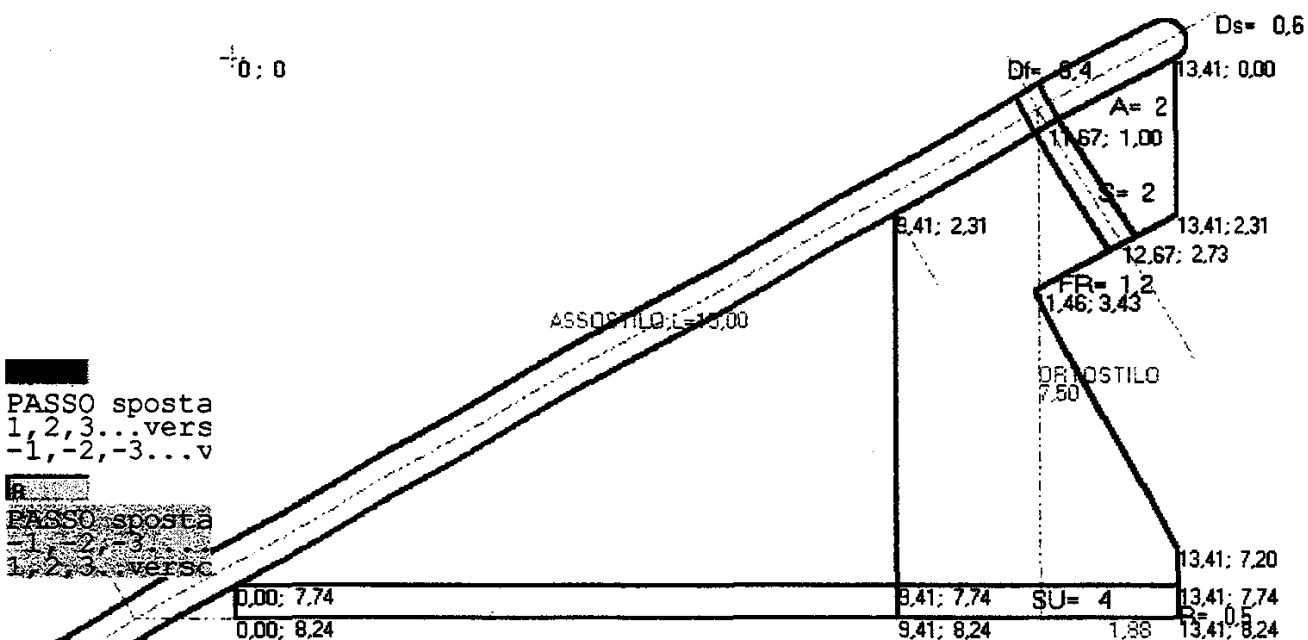
1

SCALA 1:1





SCALA 1:1



PASSO sposta
1, 2, 3...vers
-1, -2, -3...v

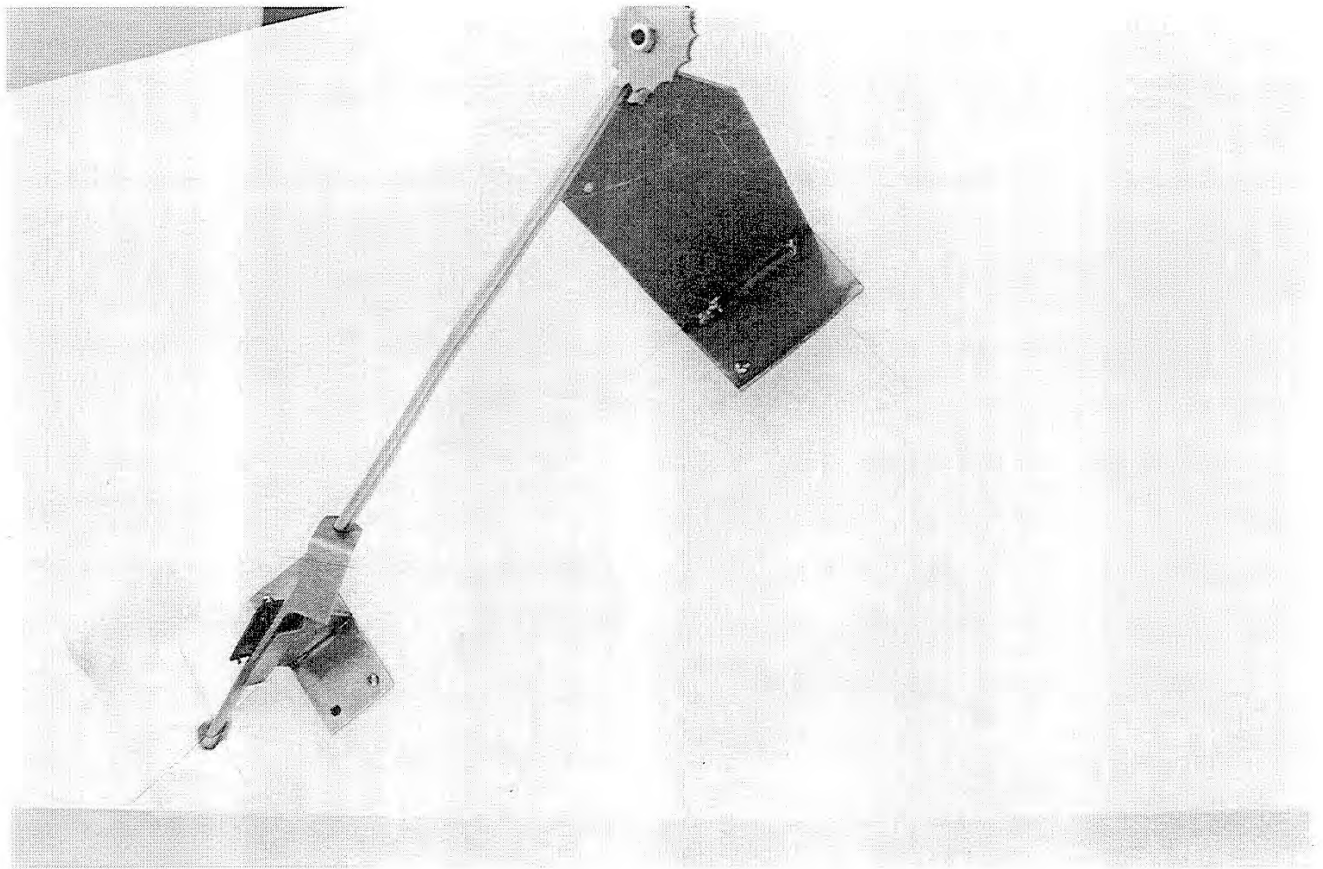
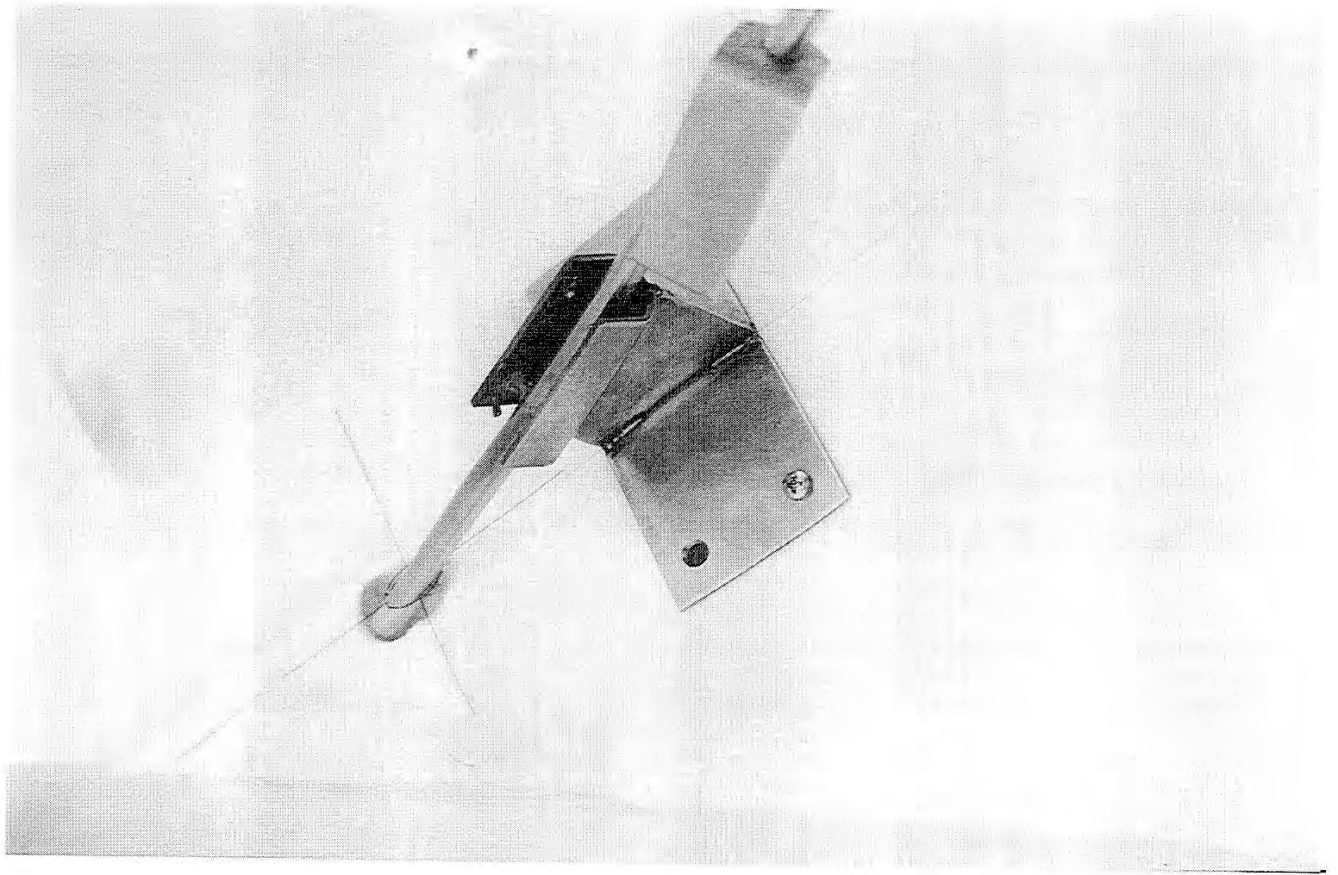
PASSO sposta
1, 2, 3...vers
1, 2, 3...versc

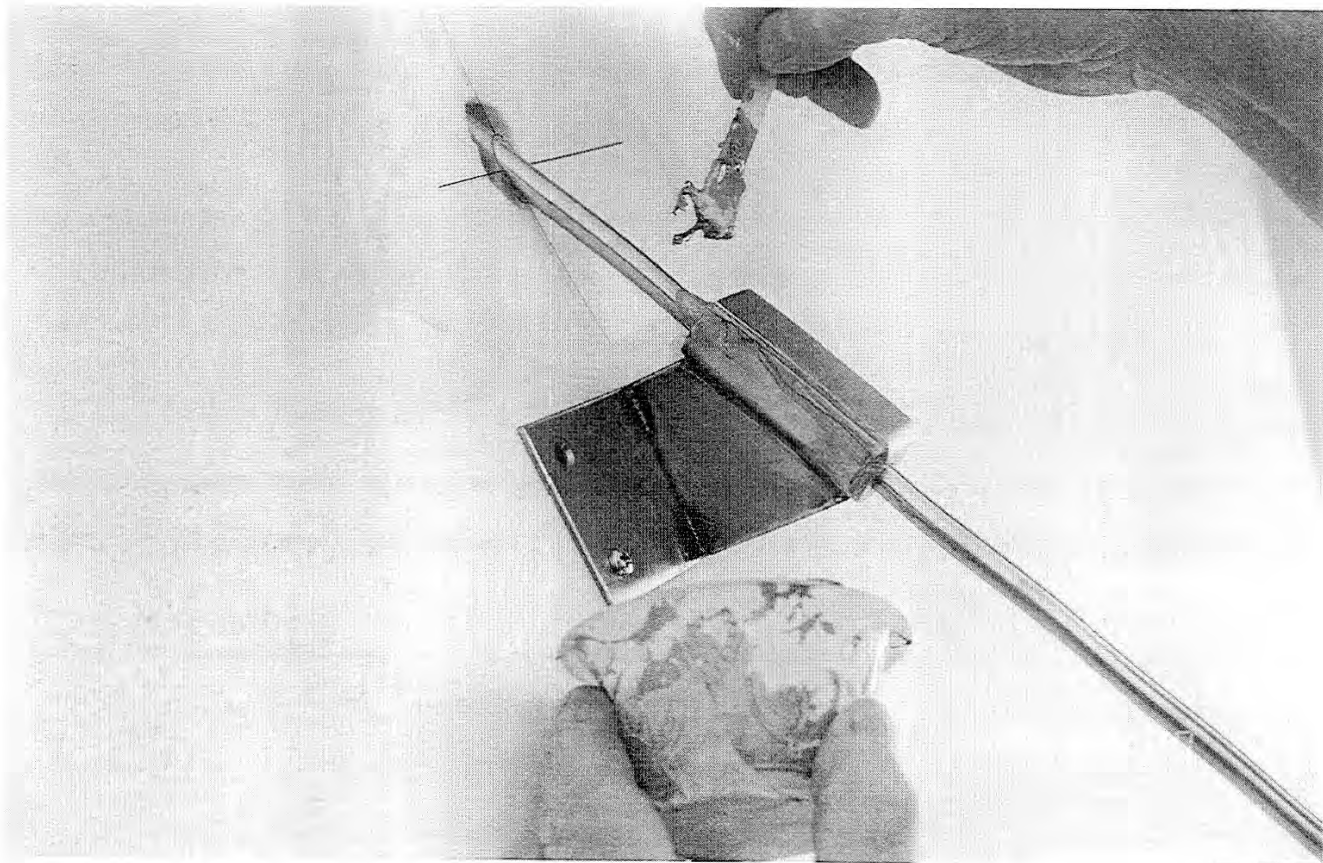
DIAM.d.STILC
DIAM.del FOR

SPESSORE;
ABBONDANZI

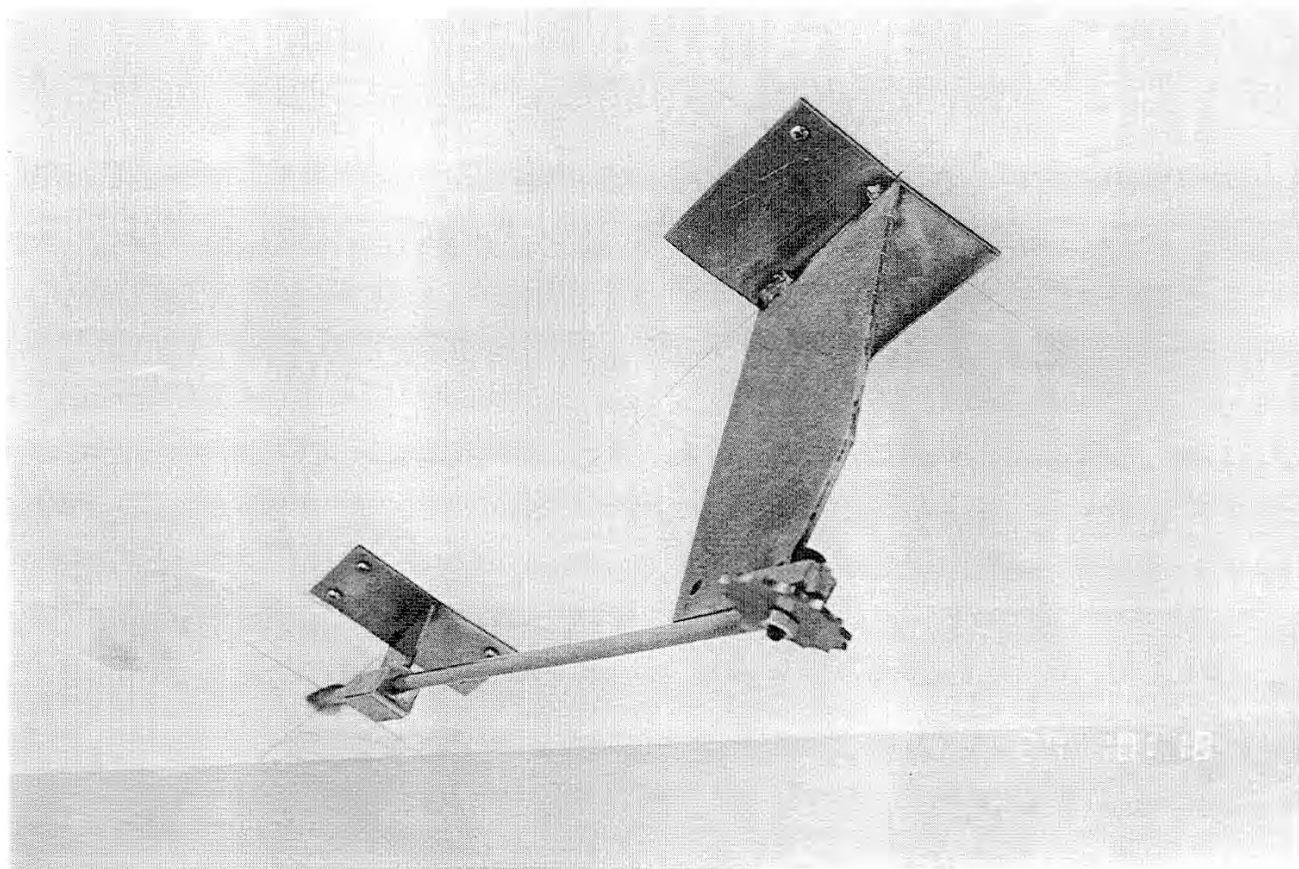
FREEDOM;
RIALZO;

SUFFICIENT
FATTORE SCAI



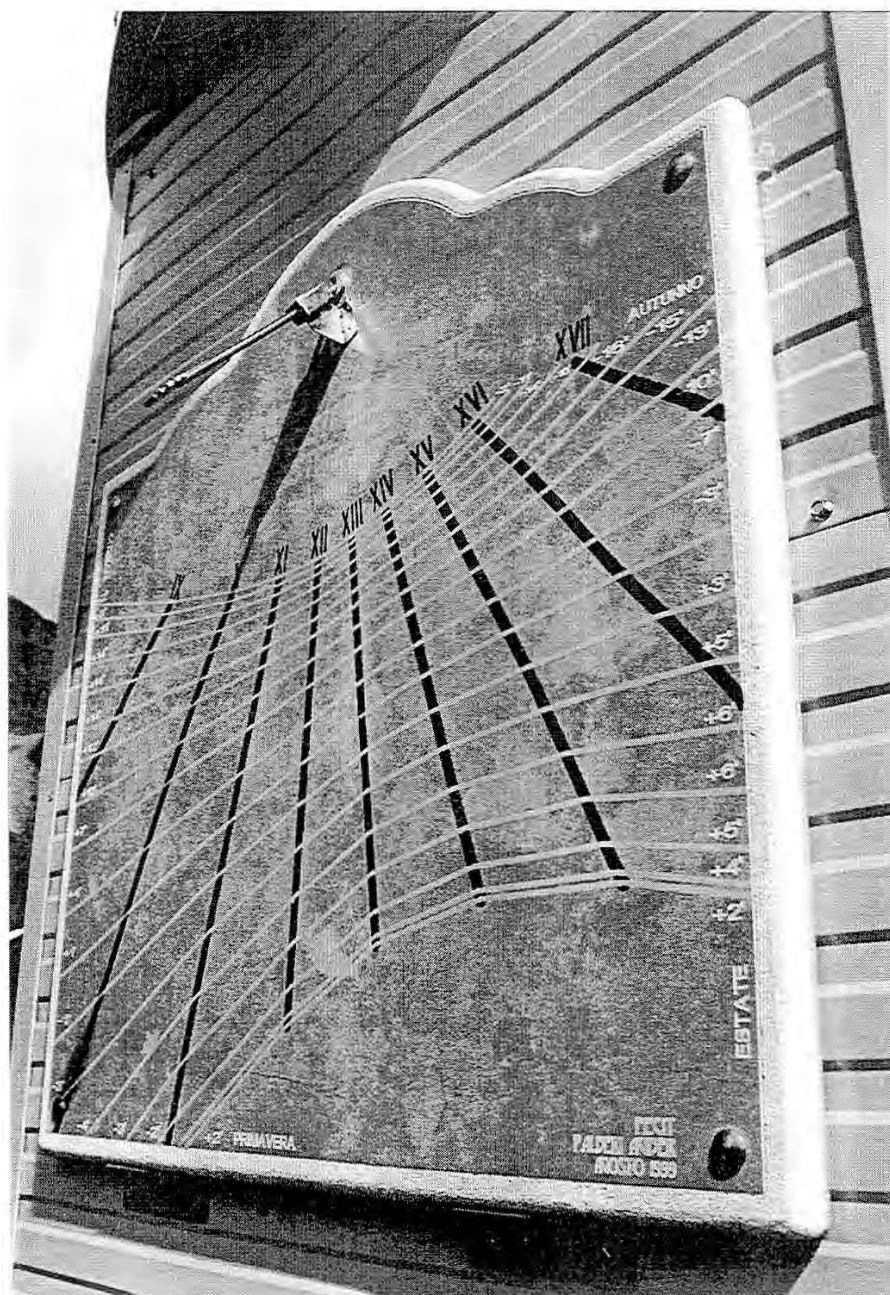


7



28

- 8 -



9

29

APPLICAZIONE DEL METODO DI INTERSEZIONE RICCARDO ANSELMI

ESTRATTO

All'illustrazione del metodo segue una serie dimostrativa di immagini grafiche

Il metodo di intersezione applicato ai quadranti solari

Con questa definizione si fa riferimento all'applicazione del metodo che sfrutta l'intersezione di due superfici. Il problema è impostato e risolto con la geometria analitica tridimensionale. Le rette, i piani e le altre superfici che riguardano il quadrante sono rappresentate da equazioni. Con questa memoria mi limito, però, alla sola presentazione dei risultati grafici che riguardano i vari tipi di quadranti. Per la trattazione completa degli orologi solari calcolati con il metodo proiettivo e con il metodo delle intersezioni è in preparazione il volume "Esercitazioni di gnomonica analitica" che comprende tutti gli argomenti trattati in precedenza.

Se si considera l'assostilo di un quadrante come l'asse di rotazione di un piano variabile passante per il centro del sole, le intersezioni del piano con il quadrante rappresentano le linee orarie secondo il sistema orario astronomico. Scegliendo opportunamente gli intervalli tra una posizione e la successiva il piano variabile determina sul quadrante la suddivisione del tempo in ore, mezze ore ecc. ecc.

Allo stesso modo le intersezioni tra il cono di luce solare, il cui vertice giace sulla punta dello stilo, ed il quadrante generano su quest'ultimo le linee diurne.

Utilizzando uno stilo conico risulta che i piani tangenti allo stilo intersecano il quadrante secondo linee del sistema orario italico e babilonese.

Le applicazioni che ora presento in forma grafica sono state realizzate in scala 1:10 con il computer. Si tratta di mini spolveri utilizzabili per la esecuzione dei corrispettivi quadranti. La figura 1 mostra il fascio di piani che, intersecando un quadrante, determina le linee orarie astronomiche.

Nella figura 2 si vede il cono di luce solare le cui intersezioni con il quadrante segnano le linee diurne.

Infine la figura 3 mostra uno stilo conico i cui piani tangenti incontrano il quadrante secondo le linee orarie italiche e babilonesi. Il quadrante non è rappresentato perché la sua forma può essere scelta tra le tante superfici curve esprimibili con una equazione che consenta la risolubilità di un sistema algebrico.

La figura 4 mostra un quadrante piano verticale declinante.

La figura 5 un quadrante piano orizzontale.

La 6 propone una meridiana verticale piana declinante inclinata. Le immagini dei quadranti appena presentati

sono state ottenute utilizzando un unico programma per le meridiane piane.

Le figure 7 e 8 rappresentano rispettivamente un quadrante cilindrico verticale declinante a sezione circolare concavo e convesso.

Le figure 9 e 10 mostrano rispettivamente un quadrante cilindrico verticale declinante a sezione parabolica, concavo e convesso. Le figure 11 e 12 propongono un quadrante cilindrico verticale declinante a sezione ellittica, concavo e convesso.

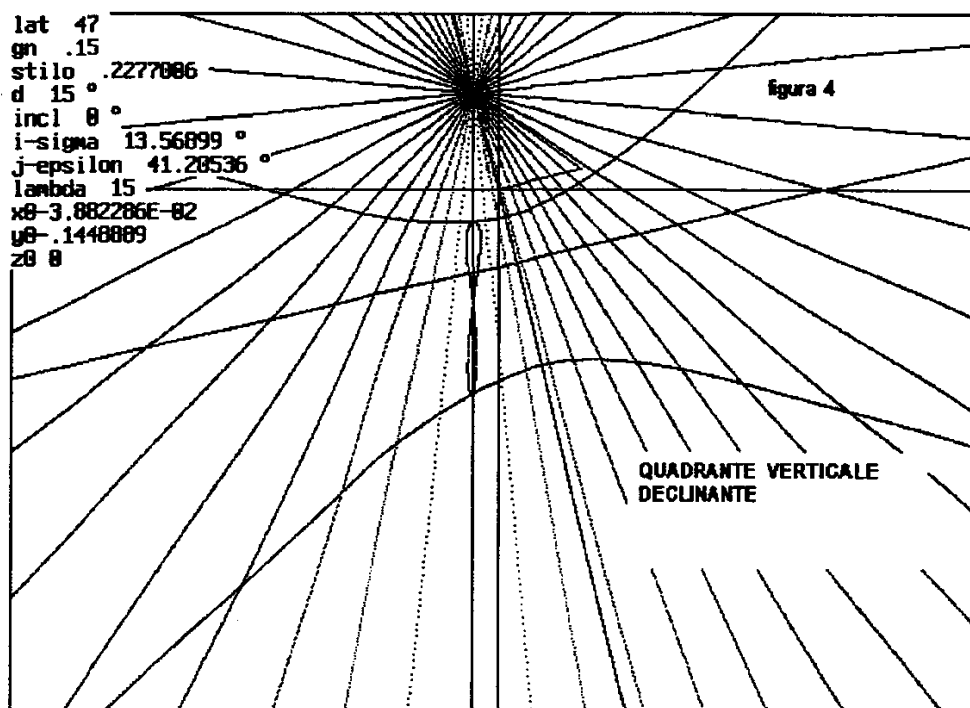
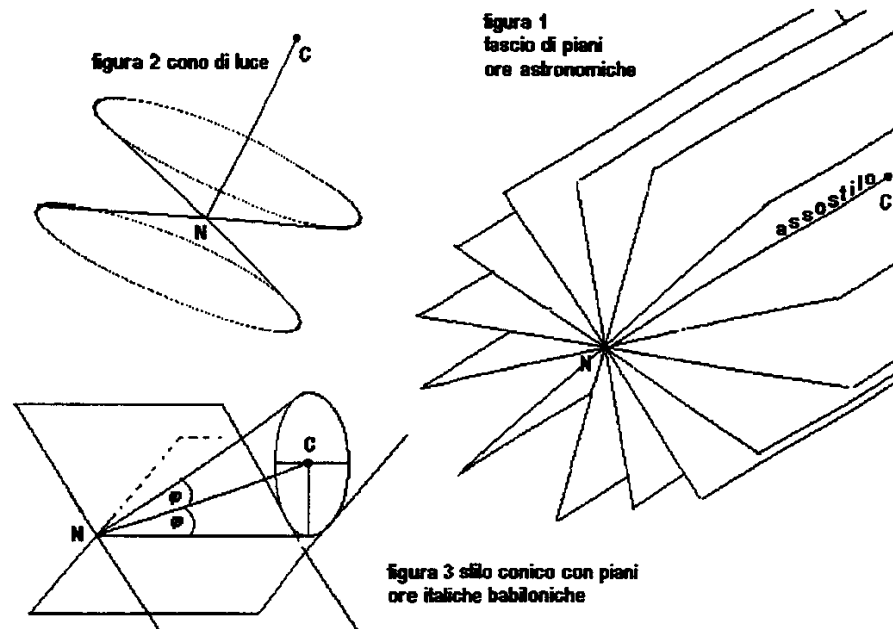
Le figure 13 e 14 un quadrante cilindrico verticale declinante a sezione iperbolica concavo e convesso.

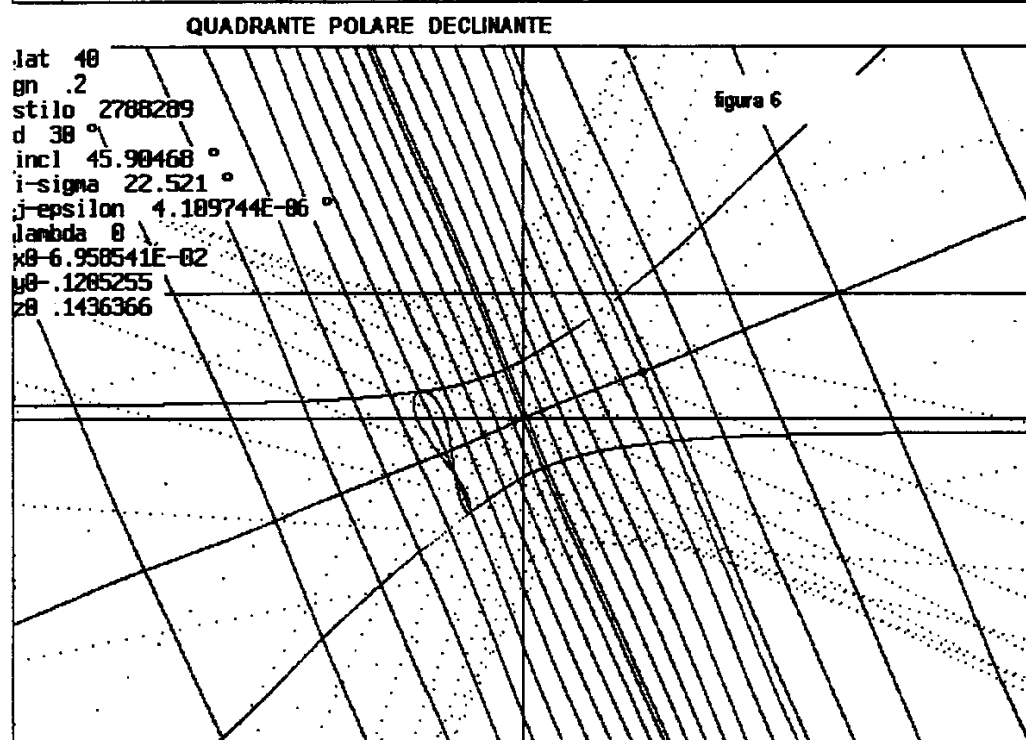
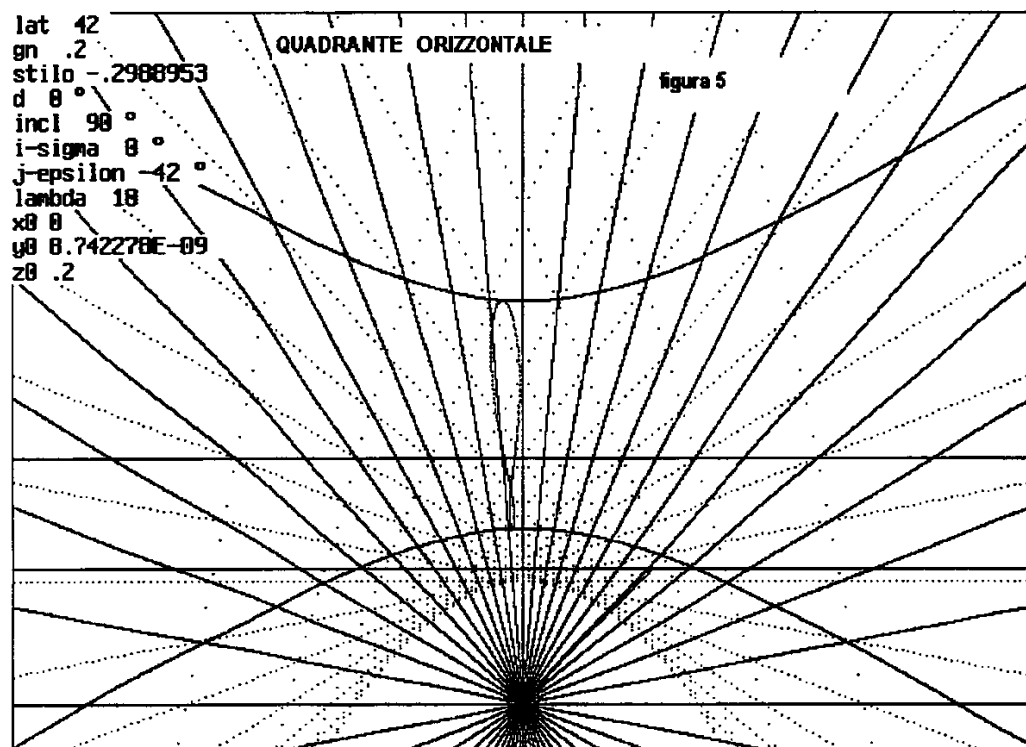
Infine, per dimostrare la validità e la universalità del metodo, viene esposto un caso assolutamente teorico: l'immagine (figura 15) di un orologio cilindrico convesso realizzato sopra ad una superficie curva a sezione esponenziale.

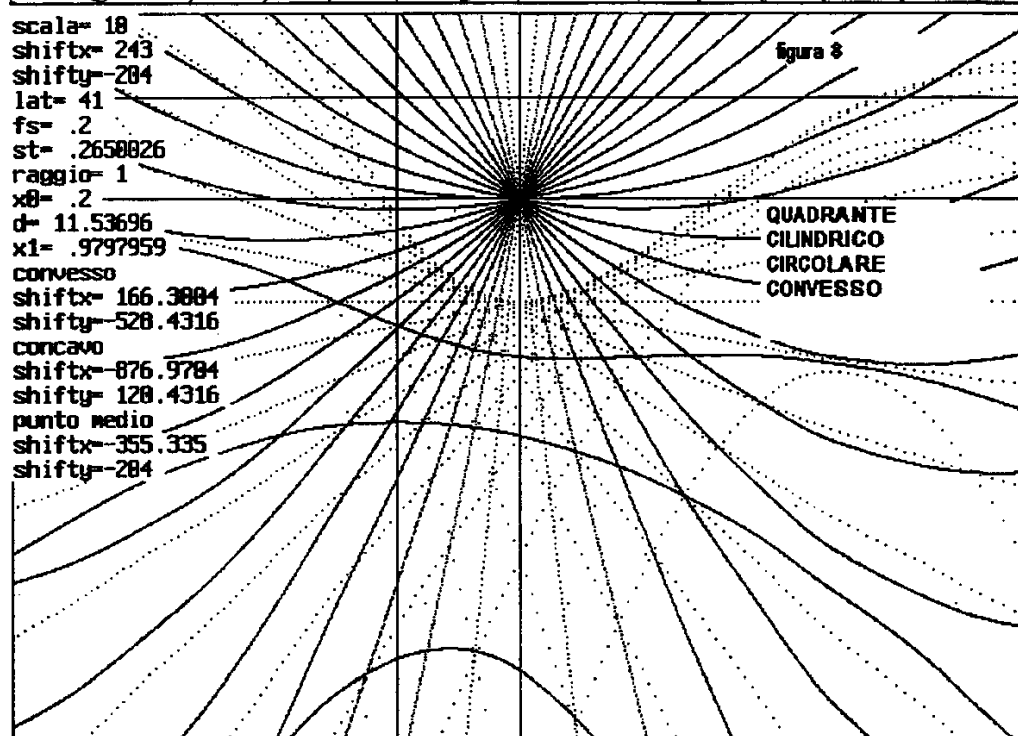
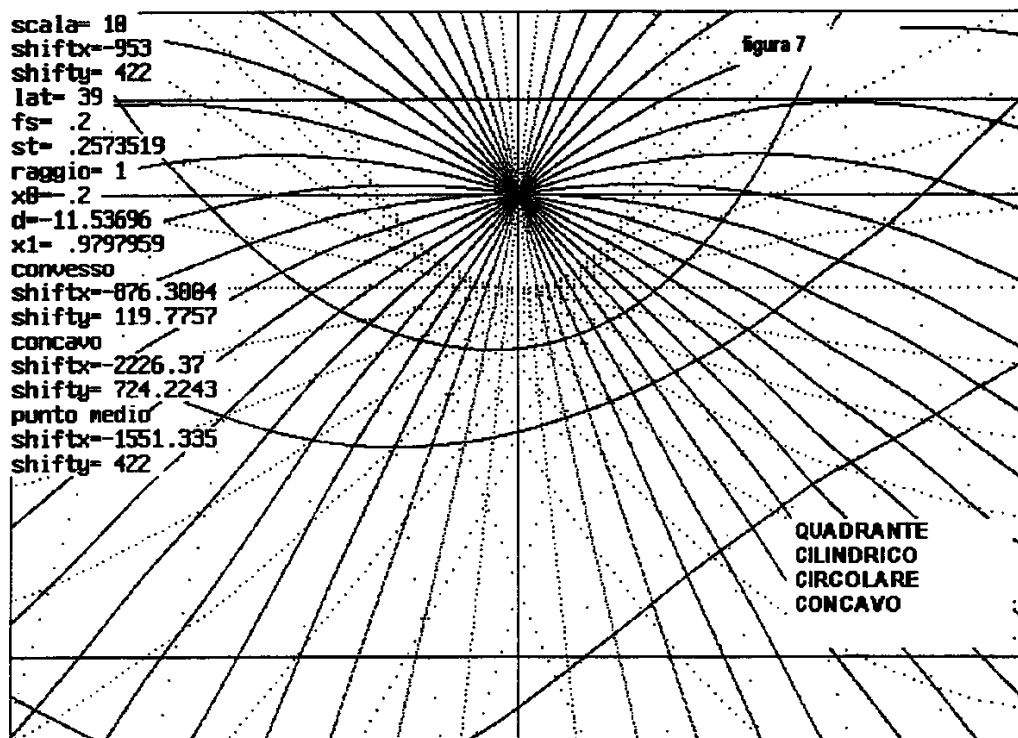
Per verificare la giustezza di questa applicazione si propone il confronto tra quest'ultimo quadrante e quello (figura 16) tracciato sopra ad una superficie cilindrica a sezione circolare il cui raggio equivale al raggio di curvatura del cilindro trascendente lungo la linea meridiana. Si nota la grande somiglianza tra le due sezioni (figura 17) che, conseguentemente, determinano quadranti cilindrici quasi perfettamente sovrapponibili (figura 18).

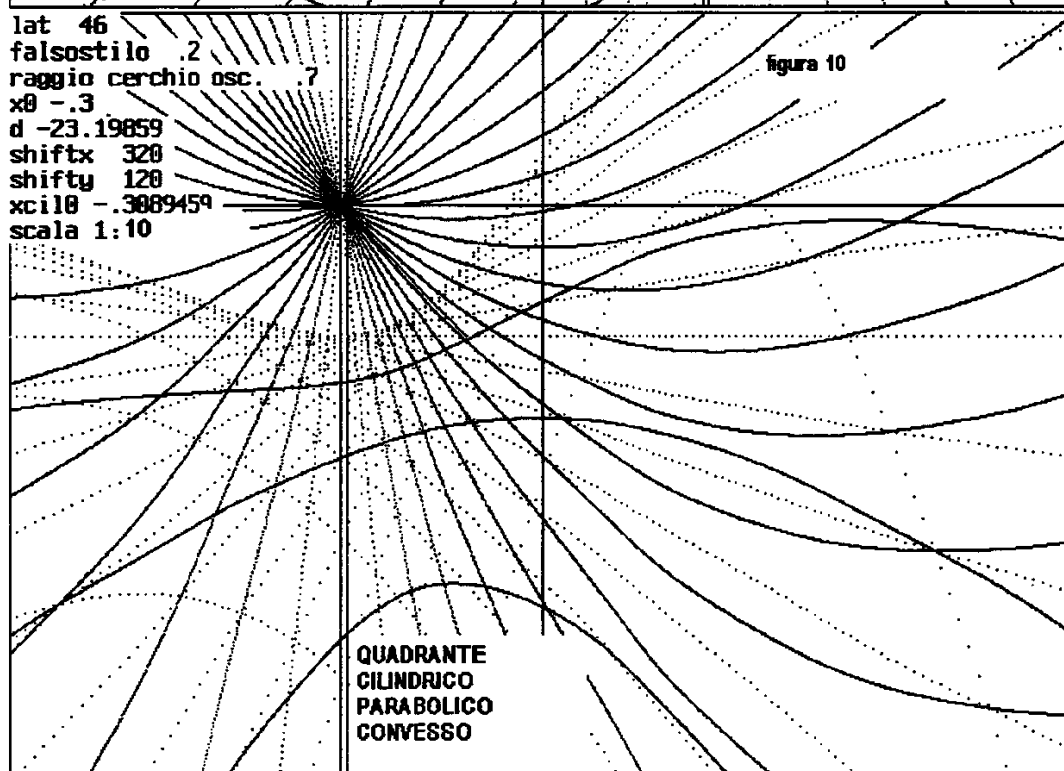
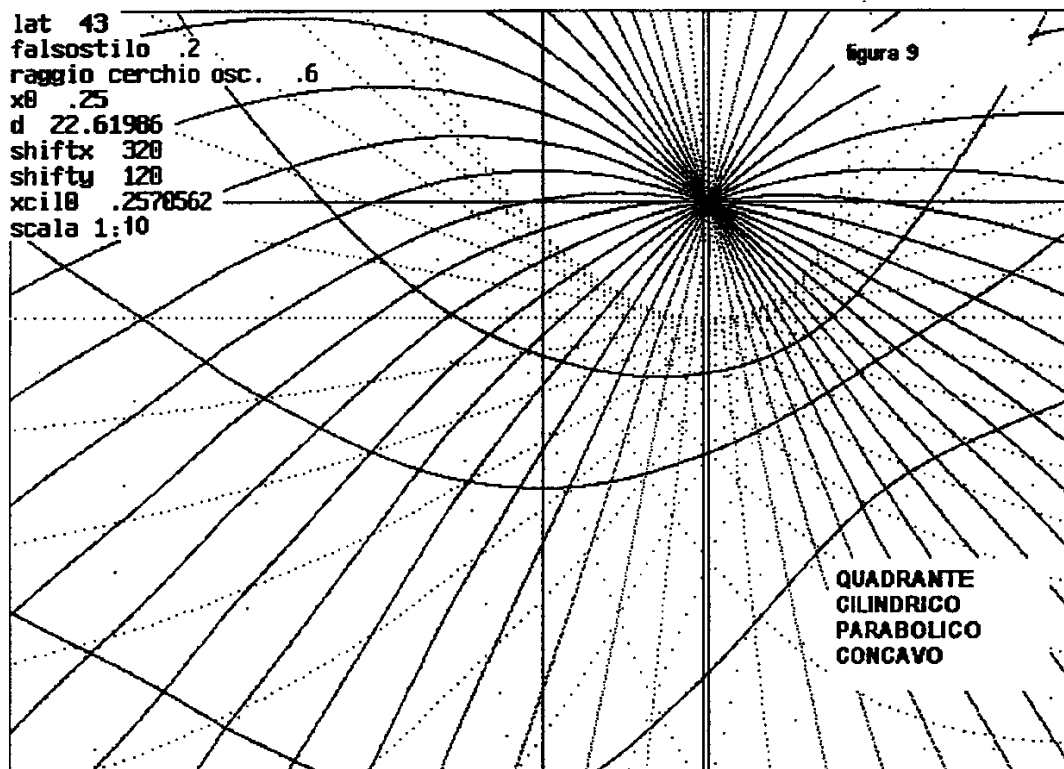
L'ultimo esempio riguarda il quadrante conico a sezione circolare, limitatamente al caso in cui il centro del quadrante giace sulla superficie del cono. Le figure 20 e 21 mostrano rispettivamente un quadrante conico convesso con vertice in alto che evidenzia le dimensioni dello spolvero e uno conico concavo con vertice in alto. Grazie per l'attenzione.

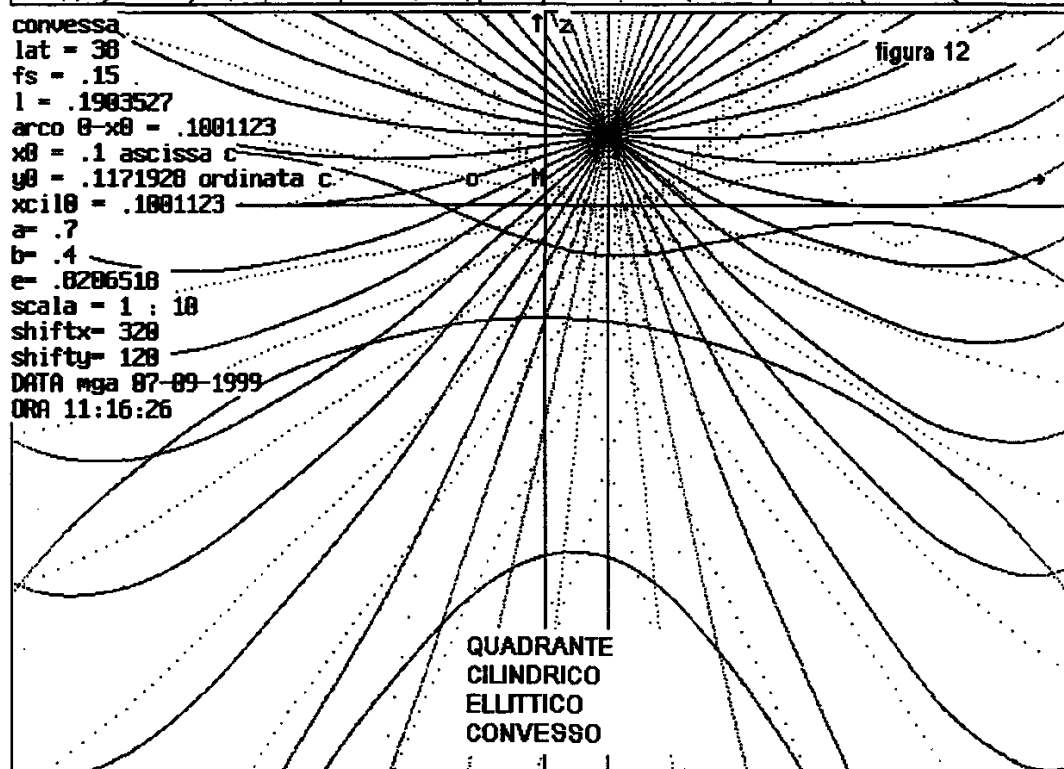
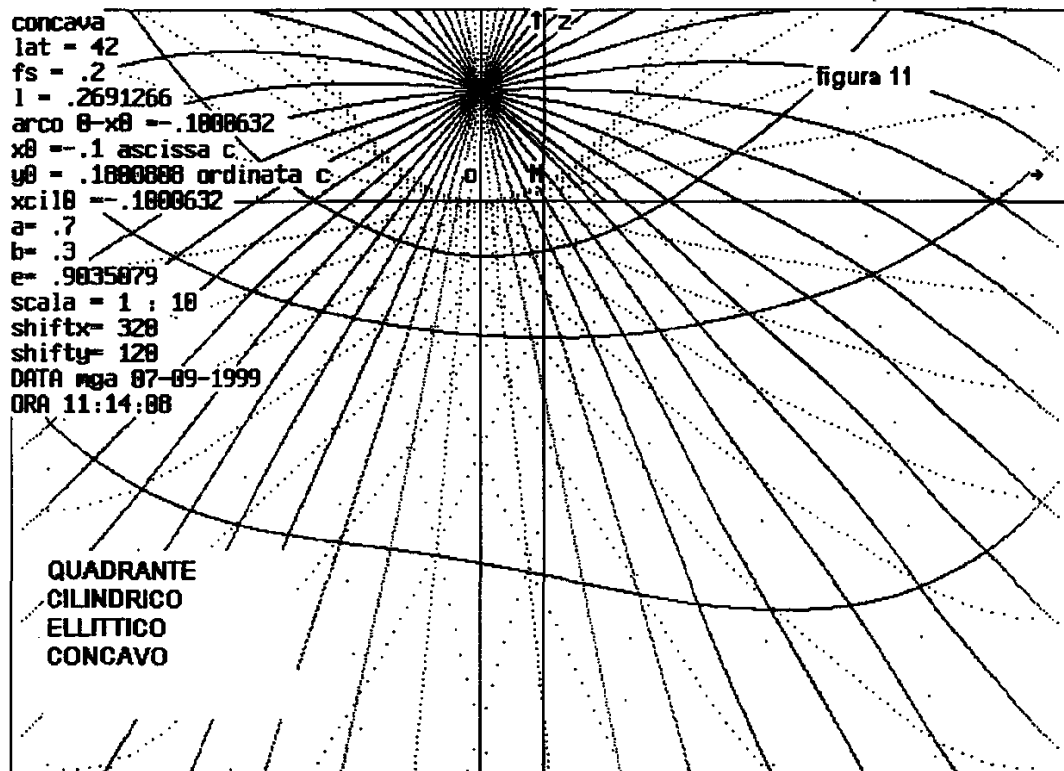
Riccardo Anselmi
Frazione Tenso, 31
11027 Saint-Vincent (AO)
ITALY
riccardo.anselmi@libero.it
<http://digilander.iol.it/sundials>

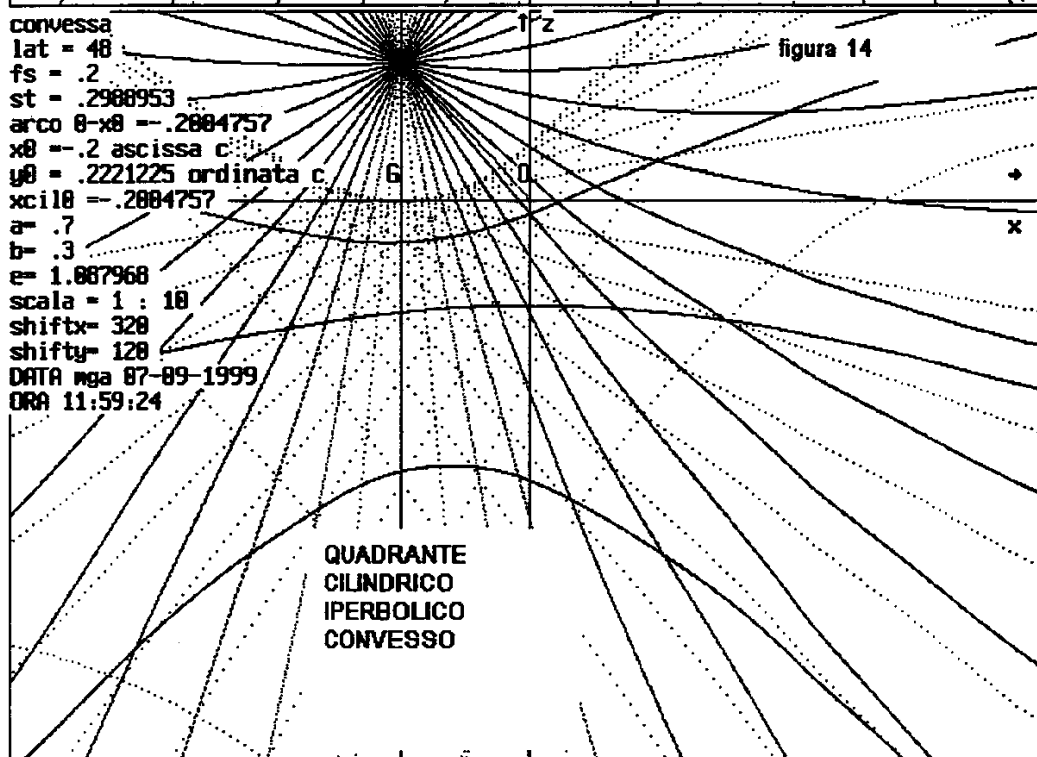
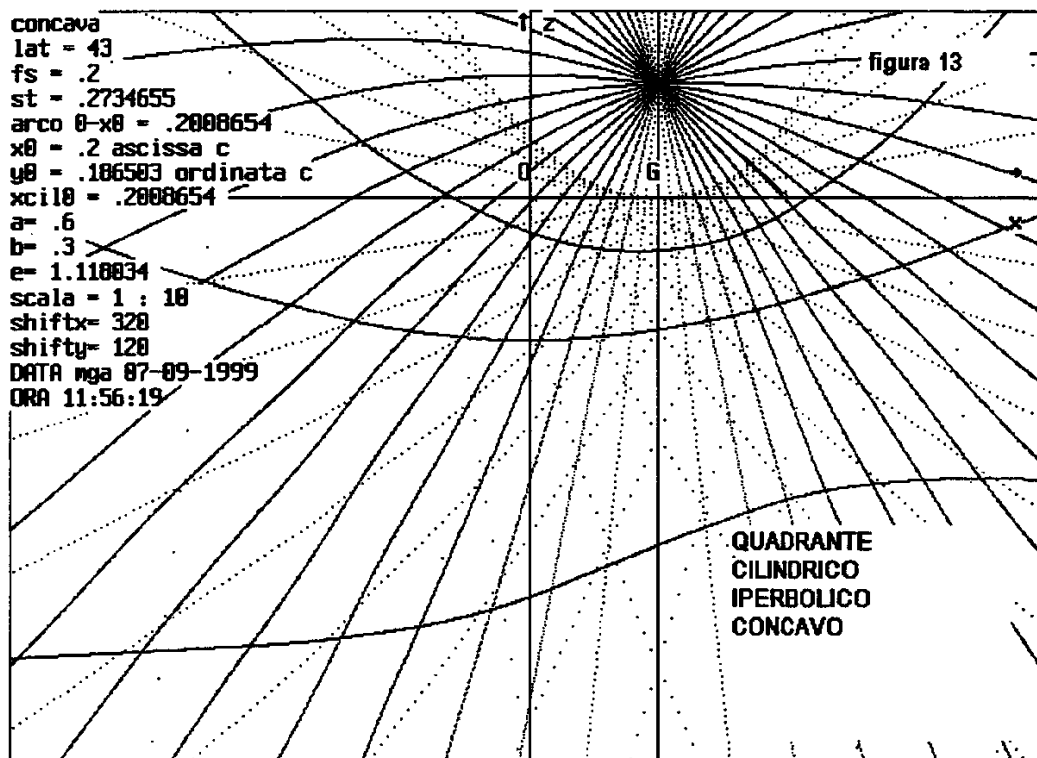


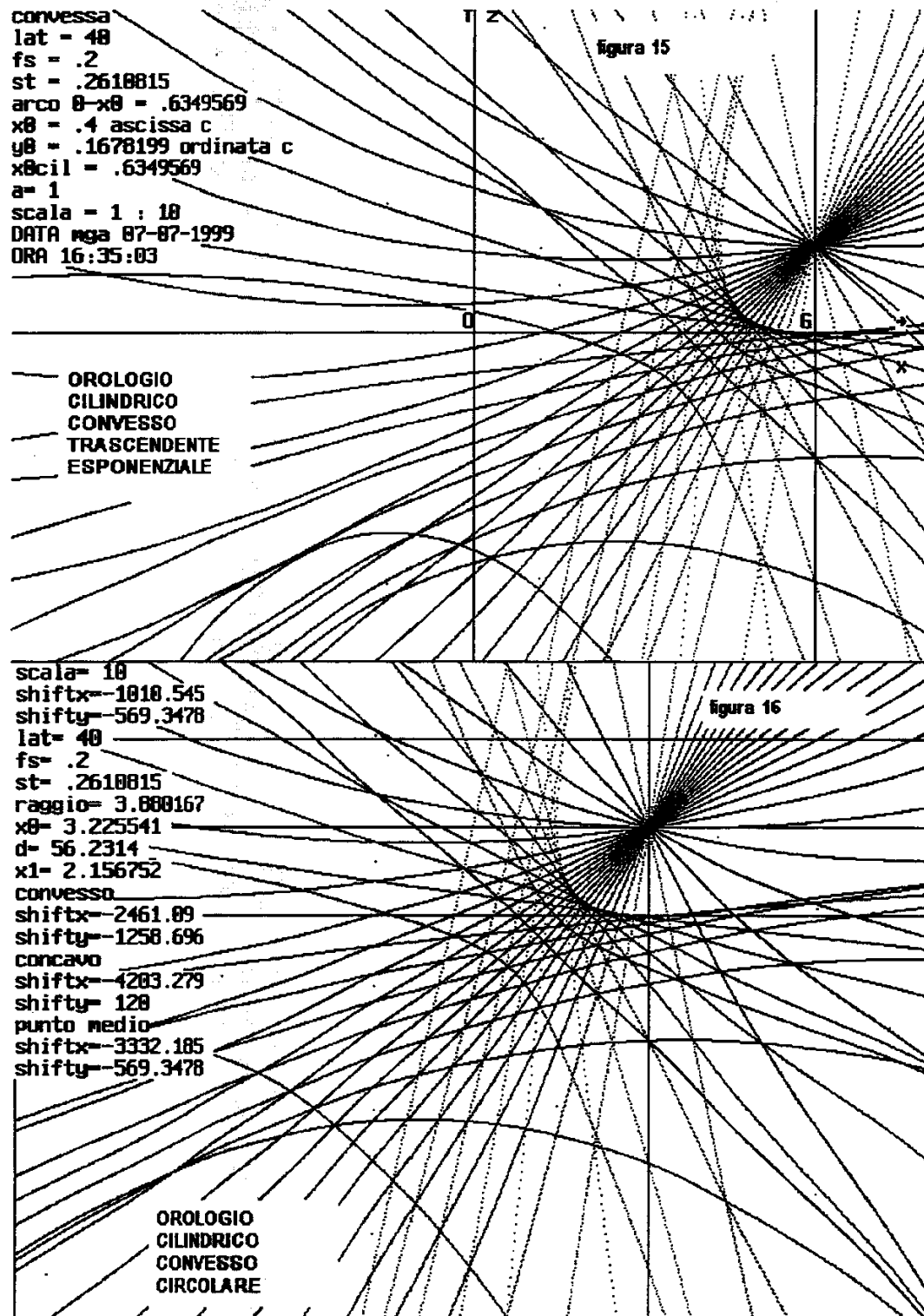


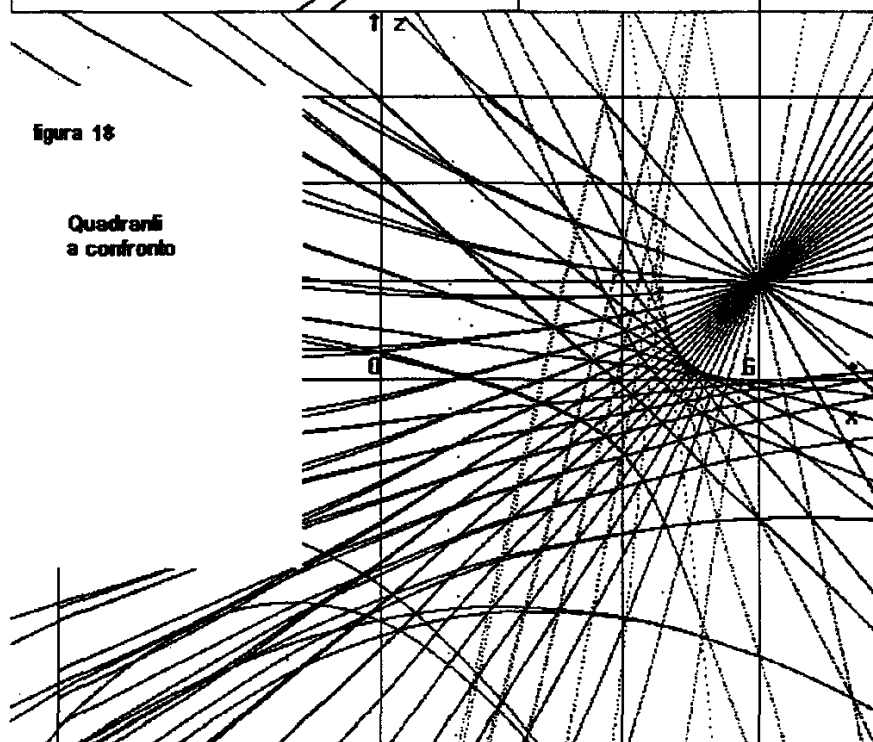
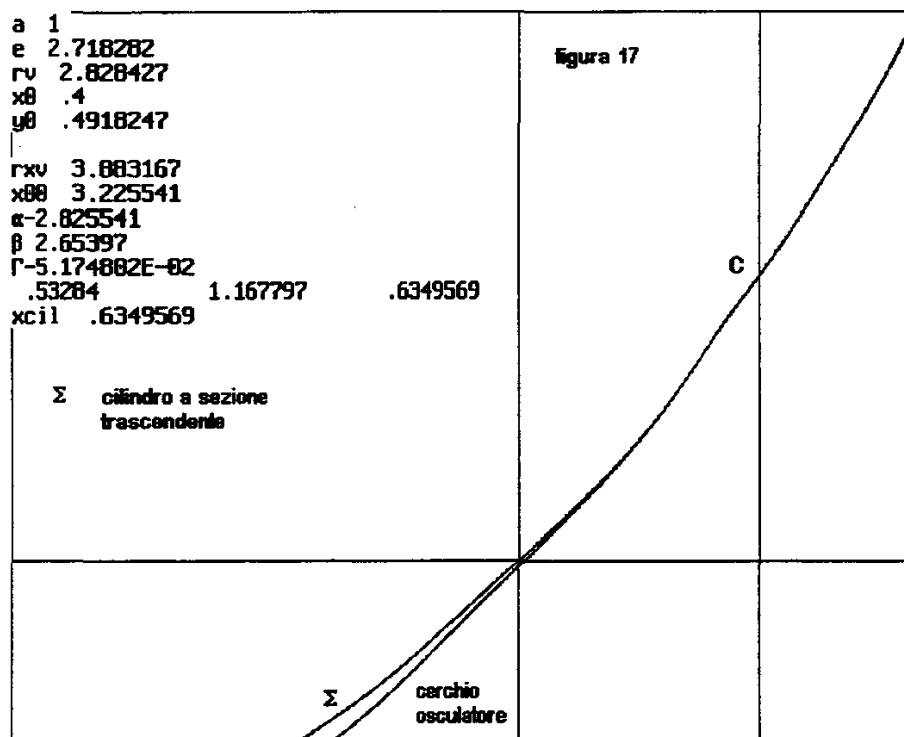


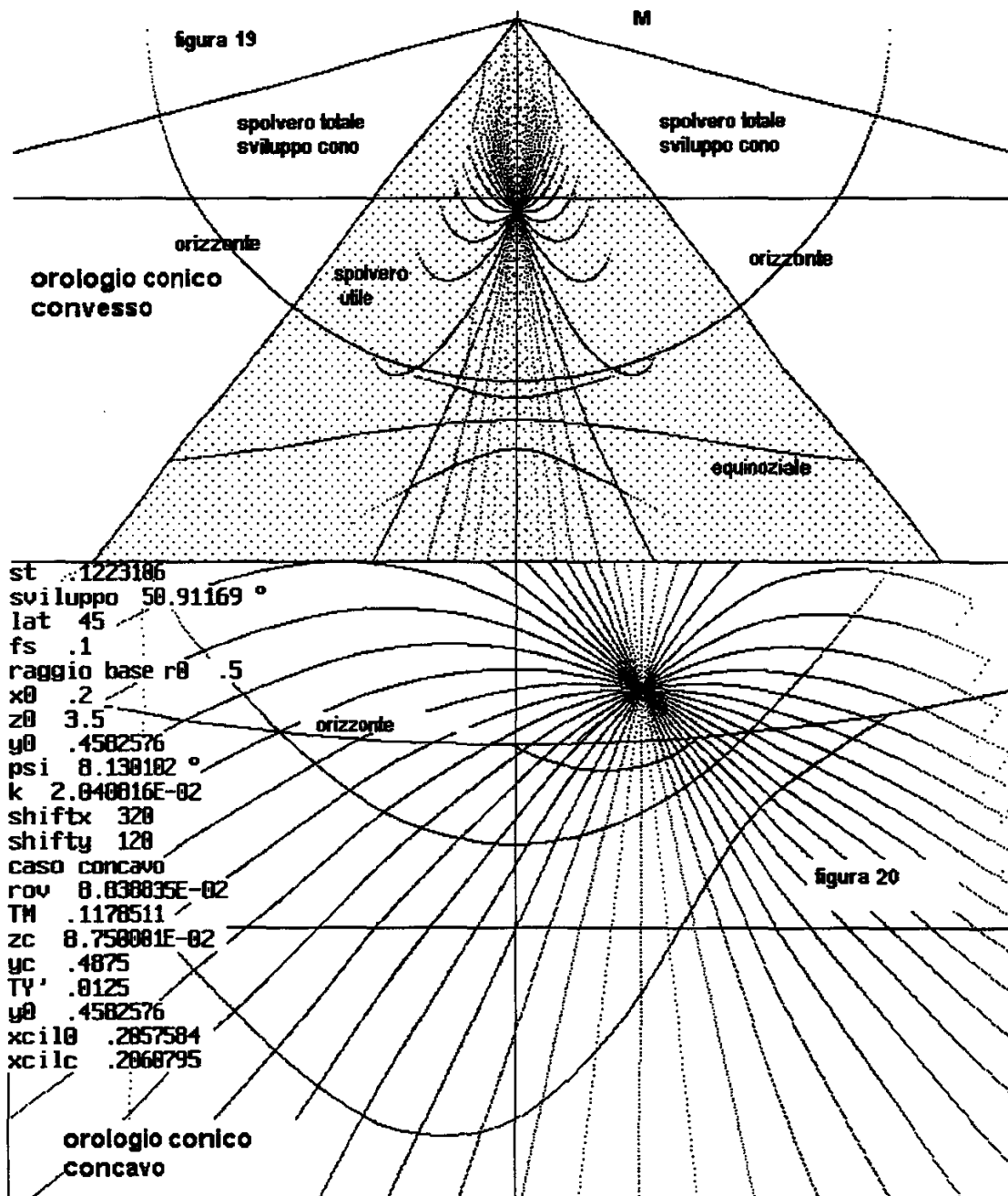












OROLOGI SOLARI MEDIEVALI ESAPARTITI: INDAGINE SULL'ORIGINE E LORO SIGNIFICATO.
MARIO ARNALDI

ESTRATTO

Molti orologi solari medievali europei e italiani, con divisioni regolari, non mostrano né la classica suddivisione duodecimale, né le note partizioni per quattro o otto. I tempi mostrati da questi manufatti sono solo sei, cioè una linea ogni due ore temporarie. Perché? Da dove proviene questa strana partizione che nulla ha a che fare con i tempi canonici conosciuti? Lo spostamento dei tempi di preghiera ne è la causa o un effetto? La lettura di fonti antiche e medievali può venirci in aiuto per comprendere aspetti della misura del tempo nell'Europa dei secoli XI e XVI.

Uno dei preconcetti che imperano nella letteratura specialistica contemporanea è il volere individuare negli orologi solari medievali Anglo-Sassoni l'origine della nota divisione quaternaria del giorno artificiale.¹ Questo modello, come ben sappiamo, fu facilmente applicato nel mondo monastico per la scansione della liturgia delle ore dell'Ufficio divino. Per fortuna quest'idea, sebbene ancora oggi vigorosa in alcuni suoi rappresentanti, sta lentamente lasciando il posto a nuove e vecchie evidenze. Non voglio dire che il popolo sassone, o il vichingo come afferma qualcun altro, non utilizzasse una divisione quadripartita del giorno, ma semplicemente che esistono le basi storiche e documentali per affermarne un'origine ben più antica, usata già nel mondo greco e romano.¹

Se in tale divisione si potevano fare coincidere con sufficiente esattezza i tre momenti principali della preghiera monastica pre-benedettina, è altresì vero che non tutti gli orologi solari medievali a noi pervenuti mostrano lo stesso numero di linee orarie. Linee che, talvolta, erano collocate in modo apparentemente arbitrario, con aperture angolari differenti e irregolari. Il numero e la posizione delle linee orarie cosiddette "canoniche", incise in quadrante solare medievale europeo, variava secondo le diverse Regole monastiche, i tempi liturgici, le bolle papali, le Consuetudini, ecc. Così accadeva - e già nel sesto secolo S. Benedetto da Norcia lo imponeva ai suoi seguaci - che le funzioni di Nona, dei Vespri e di Compieta venissero grandemente anticipate, muovendo all'indietro, in astratto o di fatto, quasi tutte le linee dell'orologio solare monastico.

Molti segnatempo si rifacevano, poi, a veri e propri schemi temporali, ed erano regolarmente divisi in otto, dieci, undici, dodici settori, e più ancora. Fra tutti questi modelli - perché, come vedremo più avanti in questo lavoro, si tratta in alcuni casi di veri e propri sistemi orari differenti fra loro, anche se generati da una comune radice - uno in particolare è l'oggetto di questo studio: il sistema delle doppie ore, ovvero, la divisione del giorno artificiale (dall'alba al tramonto) in sei parti uguali.

Ore Temporal e ore Canoniche

Prima di tutto credo che sia importante capire quale fosse anticamente la definizione dell'ora. Molti di noi qui presenti già conoscono più o meno abbondantemente cosa si intende per "ora temporale" ovvero "ineguale", però ritengo sia bene fare ancora un piccolo cappello introduttivo per chiarire alcune sfumature che non vengono quasi mai considerate con la dovuta attenzione. È bene operare così anche per coloro che si avvicinano a questo specifico argomento soltanto adesso.

Tutti i testi degli autori più noti del medioevo, come sappiamo, prendono a piene mani dai libri di Isidoro di Siviglia e di Beda il Venerabile, pilastri stabili ed indiscussi di tutte le scuole medievali, dove l'ora è definita chiaramente come la dodicesima parte del giorno, lungo o corto che sia (*hora duodecima pars diei est*). Questa frazione di tempo poteva essere ulteriormente suddivisa in parti e particelle infinitesimali, utili però, solo a scopi astronomici, astrologici e computistici, per quanto riguardava l'uso pratico di ogni giorno ci si fermava solo alla sua metà (*semis*), molto raramente si utilizzavano parti più piccole, e comunque sempre molto approssimate (*circa horam tertiam, quasi hora sexta*).²

La linea oraria incisa in un orologio solare indicava la fine di ogni ora, o di una parte di essa, ma mai l'inizio o l'istante, come si concepisce oggi, perché l'ora era misurata in un intero periodo di tempo (*hora enim finis est temporis, sicut et, ora sunt fines maris, fluviorum, vestimentorum*).

In Europa, nel medioevo, gli orologi solari erano utilizzati quasi esclusivamente dai monaci e dalla Chiesa, con lo scopo di scandire il tempo diurno della preghiera, e solo in rari casi abbiamo testimonianze di usi non religiosi. Gli antichi spazi temporali, così, mutarono la loro destinazione, e da dodici divennero quattro (secondo l'antico uso popolare romano), sei, otto, ecc. Quindi, secondo il numero di settori in cui era suddiviso un orologio solare di allora variava anche sensibilmente la lunghezza delle ore stesse. Ecco perché, non è possibile in alcun modo paragonare le ore odierne a quelle monastiche, e anche i calcoli effettuati con i moderni computers ottengono falsi risultati, se non si pensa con la mente medievale. Pensare con una mente medievale significa lasciare da parte, almeno per un attimo, la nostra ragione scientifica moderna e accettare senza pregiudizi, convinzioni, filosofie e cosmologie di un'epoca governata in gran parte da una cultura prescientifica. Si deve anche tenere conto che in massima parte gli orologi solari

¹ Per giorno artificiale, nel medioevo, si considerava lo spazio di luce che va dall'alba al tramonto.

medievali collocati sulle chiese e nei monasteri, non erano tracciati con conoscenze astronomiche, essi erano affatto assai più simili a rappresentazioni grafiche del cielo. Dobbiamo anche renderci conto che gli orologi solari, già dall'antichità, assunsero quasi automaticamente il potere simbolico-magico del "tempo", divennero ben presto, una sorta di "memento mori" a cui ogni uomo non poteva sottrarsi, monaco o laico che fosse.ⁱⁱⁱ Il semplice metodo di dividere un semicerchio in tanti settori quanti ne richiedeva la necessità e la disciplina monastica cui il costruttore era legato, era più che sufficiente a scandire il tempo, principalmente liturgico, dell'intera comunità.

La divisione del giorno in sei parti, con tutte le sue varianti, si impose in Europa, assieme ad altri sistemi orari, fino agli inizi del sedicesimo secolo. Ma dove nacque l'idea di una simile divisione? Per quali motivi fu poi praticata per lungo tempo?

Sono domande difficili a cui dare risposta, cercherò di approfondire qui l'argomento al meglio delle mie possibilità, con l'aiuto di alcuni testi chiave.

Le doppie ore di Babilonia

È ormai noto, grazie ai fortunati ritrovamenti in area mesopotamica avvenuti già nel secolo scorso, che molto tempo prima della distruzione di Ninive (607 a.C.), gli antichi babilonesi e gli assiri solevano dividere l'intero giorno, notte compresa, (*nychthemeron*) in dodici ore uguali chiamate *Kaspu* ovvero *Beru*.^{iv} Testimonianze importanti sono, i numerosi rapporti che i sacerdoti di Ninive inviavano costantemente ai re assiri. Dalla lettura di queste tavolette d'argilla si evince che l'unità di misura temporale allora utilizzata soprattutto per il computo astronomico, il *Beru* appunto, durava esattamente due ore equinoziali, e, come scrivono Sesto Empirico e Macrobio,^v sicuramente veniva misurata con strumenti ad acqua raggiungendo una certa precisione.^{vi}

Gli astronomi Reali tenevano costantemente conto della lunghezza variabile dei giorni e delle notti, per scopi calendariali, ed inviavano regolarmente le loro osservazioni al re. Essi, conobbero le ore temporali (il giorno luminoso diviso in dodici ore), probabilmente per via siriana dagli egizi, e le adottarono anche per gli usi civili. Tuttavia il *Beru* restò la loro unità di misura immutabile durante l'intero anno. Il *Beru* era diviso in *Us* (30 *us* = 1 *beru* = 120 minuti) e *Gar* (60 *gar* = 1 *us* = 4 minuti), e queste unità di misura servivano per misurare la lunghezza dei giorni durante l'anno, per il computo dell'*asarri* (l'ora temporale), e il movimento degli astri.^{vii}

Questa unità di misura, fortemente legata al movimento delle stelle, fu introdotta anche in Grecia dove più tardi, in epoca ellenistica, venne divisa in due metà per formare le ventiquattro ore equinoziali, e da allora condivise anche in tutto il mondo romano. La doppia ora, considerata come singola unità, persistette ancora fino alla tarda

antichità.² Ne sono testimoni numerosi accenni in tanti libri di antichi autori, tra cui l'opera *Adversus Hereses* scritta nel secolo IV, dal Vescovo cipriota Epifanio, in cui s'espongono particolari computi – che non riporto qui per la loro lunghezza – risolvibili unicamente con il sistema delle doppie ore.^{viii} È indubbio che questo computo sopravvisse almeno sporadicamente fino al secolo VIII, quando Beda il venerabile in una delle sue massime opere 'scientifiche',³ il *De Temporum Ratione*, ne riporta una testimonianza indiscutibile. Nel capitolo 39, Beda scrive chiaramente che alcuni computisti del suo tempo avevano l'usanza di misurare la lunghezza dell'anno in 365 giorni e tre ore, essi cioè, consideravano un quarto di giorno diviso in tre porzioni anziché sei.^{ix} Questo metodo di computo, apertamente criticato da Beda, è spiegabile solo considerando la divisione dell'intero giorno, notte compresa, in dodici parti uguali. Lo stesso computo cui fa riferimento il monaco di Jarrow, è facile ritrovarlo in diversi altri manoscritti dei secoli immediatamente successivi, soprattutto, di origine irlandese.^x Nonostante queste importanti testimonianze, sembra essere sopravvissuto un numero estremamente esiguo di orologi esapartiti, originari di quell'epoca: come ad esempio quello di Pitington.^{xi}

Alcuni orologi solari monastici Irlandesi molto antichi hanno le linee delle ore di Terza e di Nona in posizione anomala, aperte, cioè, a 60 gradi, simmetricamente, rispetto alla linea verticale del mezzogiorno. I 30 gradi che allontanano queste linee dall'orizzontale sono, perciò, equivalenti allo spazio di due ore temporali.^{xii} Sappiamo con certezza che il computo divulgato da Beda era di origine irlandese,^{xiii} e questo fu introdotto in Irlanda, per via diretta o indiretta, da monaci greci,^{xiv} tuttavia, allo stato attuale degli studi non ci è possibile essere certi di un utilizzo pratico delle doppie ore nel nord dell'Europa durante i secoli VII / VIII. Sembrerebbe piuttosto una mera questione di computo.

I molti orologi solari monastici esapartiti giunti fino a noi sono, in effetti, il frutto di una rinascita culturale avvenuta qualche secolo più tardi, probabilmente alla scuola di Chartre.

Il Computus di Philippe de Thaon

Come ho appena scritto, le doppie ore sembrano riapparire d'un tratto nel XII secolo, forse con la riscoperta dei testi scientifici ellenistici e arabi, non più, però, come unità equinoziali, ma come tempi variabili del

² G. Bilfinger, 'Die Babilonische Doppelstunde', *Programm des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart*, Stuttgart, (1888). Bilfinger cita al riguardo molti noti autori dei primi tre secoli della nostra era. Il nostro interesse qui, però, è essenzialmente il medioevo europeo e non riteniamo necessario soffermarci troppo su di essi per non allontanarci troppo dal nostro scopo.

³ Sono ben cosciente di usare l'attributo 'scientifico' in disaccordo con il suo significato odierno, tuttavia non esiste altro termine per definire tali opere medievali, componimenti che comunque tendono verso un'elevazione del sapere umano.

giorno artificiale. Le Ore dell'Ufficio Divino, comunque, si adattarono volentieri a questa anomala divisione perché ormai i tempi delle funzioni erano cambiati ed i vecchi orologi non sempre rispecchiavano gli intenti della Chiesa.

Quello che mi ha spinto ad indagare ancora sulle sei ore del giorno è stata la lettura di un brano dell'opera di Philippe di Thaon. La posizione delle ore canoniche all'interno di una divisione esapartita del giorno, è perfettamente evidenziata nel suo trattato poetico di computo ecclesiastico scritto negli anni fra il 1113 e il 1119.⁵ In quelle rime Philippe descrive l'uso popolare, nonché religioso, di raggruppare le dodici frazioni temporali del giorno luminoso in sei gruppi di due ore ciascuna. Riporto qui di seguito il testo originale dei versi in antico idioma francese:

*Nepurquant par demures,
Que nus apelum 'hures',
En est divisium
Par itele raisun,
Char prime apellent le une,
Tierce, midi e mune,
La quinte, remuntee,
E la siste, vespree.
Encore entre chascune
En i laissent il une,
Ço est pur le cunter
E pur tost remembrer.
Mais ki dreit volt numbrer,
Duze en i pot truver;
En ordre lur curs
Tenent tuz a estrus⁴*

Il testo di Philippe è particolarmente chiaro,⁵ ed è una delle migliori testimonianze in merito. Come si è visto, l'autore divide la giornata in sei parti chiamate comunemente ore (*hures*) ovvero soste (*demures*).⁶ La *demure* iniziale si chiama di 'Prima' (*Prime*), la seconda, 'Terza' (*Tierce*), la terza, 'mezzogiorno' (*midî*), la quarta, 'nona' (*mune*), la quinta, 'risalita', ovvero 'risveglio' (*remuntee*), e la sesta, 'vespri' (*vespree*). Si tratta certamente di un metodo misto di determinazione oraria,

un po' ecclesiastica e un po' popolare, non certo di ore esclusivamente canoniche dato che l'ora di *remuntee* non è un tempo di preghiera. Le sei *demures* a cui Philippe fa riferimento sono uguali fra loro, composte di due ore temporali ciascuna. Lo conferma il passo: '*Encore entre chascune / En i laissent il une*', cioè, all'interno di ogni settore si tralascia una ora. Philippe, però, ammette che questo era solo un metodo pratico per ricordare con maggiore facilità i vari momenti del giorno (*Ço est pur le cunter / E pur tost remembrer*), perché, come egli scrive, il giusto numero delle ore era indiscutibilmente dodici (*Mais ki dreit volt numbrer, / Duze en i pot truver*).

Non è facile capire se i nomi delle sei ore citate da Philippe di Thaon si riferiscano alle eventuali linee dell'orologio solare, ma se così fosse, a quali di queste si fa riferimento? Sembrerebbe più verosimile l'allusione all'intera ora, cioè a tutto lo spazio intercorrente fra una linea oraria ed un'altra. Ma quale delle due linee dà, secondo Philippe, il nome all'ora?

In Italia, Dante Alighieri e Francesco Da Buti, di cui

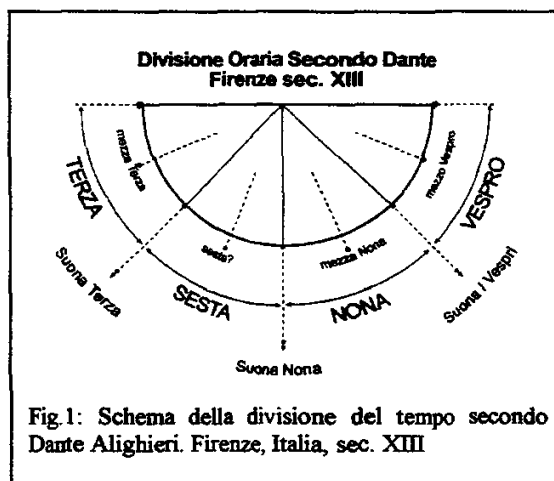


Fig.1: Schema della divisione del tempo secondo Dante Alighieri. Firenze, Italia, sec. XIII

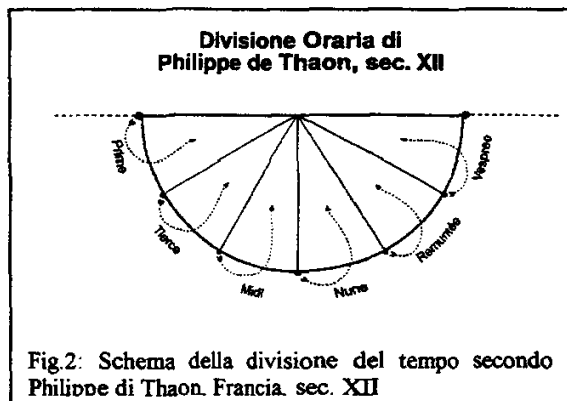
scriveremo più avanti, chiamavano le varie parti del giorno - non importa di quante ore temporali esse fossero composte - talvolta con il nome della prima, o dell'ultima ora temporale che le componeva. Ma più frequentemente, esse prendevano il nome dalla funzione religiosa che si celebrava all'inizio o alla fine di quelle parti. Per Dante, ad esempio, il nome delle quattro sezioni del giorno aveva origine dalle ore temporali finali. Infatti, la prima parte si chiama terza, la seconda sesta, la terza nona e la quarta vespro. Le quattro parti del giorno spesso si dividevano a metà formando gli otto spicchi che si possono vedere in molti orologi solari medievali. Le metà dei quattro momenti principali del giorno (Terza, Sesta, Nona e Vespro) si chiamavano, data la loro posizione, mezza terza, mezza nona, mezzo vespro (fig. 1).⁷ Francesco Da Buti, al contrario, utilizzò un metodo solo apparentemente più complicato di quello dantesco - forse più laico - dividendo il giorno in sei parti uguali e

⁴ traduzione: Allo stesso modo le *Demures* / Che noi chiamiamo 'ore', / Sono divise / In questa maniera, / Cioè che la numero uno si chiama 'Prima', / [Seguono] 'Terza', 'mezzogiorno' e 'Nona' / La quinta, 'risalita' / E la sesta, 'Vespri'. / Ancora, entro ciascuna [lunghezza] / Se ne tralascia un'altra. / Si fa così, però, solo per contarle / E ricordarle più facilmente. / Ma chi desiderasse numerarle nel giusto ordine, / Sappia che in realtà sono dodici; / E in ordine al loro corso regolare / Si battono ciclicamente.

⁵ Non sembra sia lo stesso per: W. Rothwell, 'The hours of the day in Medieval French', *French Studies* 13, 240-51, (1959).

⁶ *Demurée*, qui prende il significato di "sosta", "lasso di tempo", quindi, le *Demures* sono semplici periodi temporali, pressappoco come i *Tides* anglosassoni.

considerando solo il momento finale di queste: istante in cui verosimilmente si recitava l'Ufficio divino. Ma Philippe di Thaon quali momenti utilizza? A giudicare dai nomi che egli attribuisce alle sei ore si potrebbe dire che il momento temporale che dà il nome all'intero settore orario sia contenuto al suo interno, molto probabilmente entro la sua prima metà (fig. 2).



L'ora di *remontée* o *remontière*, altrimenti detta del *ravaler* o di *relevée*, che l'autore colloca dopo Nona, era l'ora pomeridiana del risveglio dal breve sonno del dopopasto, ovvero la fine del riposo meridiano dei lavoratori. Questo istante si trovava esattamente fra la *basse norme* e il *vespre*, ed era anche chiamato *haut vespre*.^{xvii}

Ancora una volta, come ho avuto modo di esporre anche in altre occasioni,^{xviii} il tempo immediatamente successivo la recita della 'Nona' si conferma l'ora del pasto meridiano, e se seguiamo la meticolosa ricerca condotta da Gustav Bilfinger sull'uso popolare medievale di nominare le ore del giorno, non abbiamo dubbi nel collocare il tempo di *remuntee* sulla linea terminale dell'ottava ora; cioè la quinta linea (la prima dopo la meridiana) di un orologio solare medievale esapartito.^{xix} In un orologio solare monastico, o medievale, questa linea segnava con precisione l'ora in cui terminava, durante i mesi estivi, il periodo di riposo che iniziava subito dopo mezzogiorno, come espressamente dichiarato nel libro delle consuetudini Cistercensi.⁷

Le ore temporali ed i Segni zodiacali

Che ci fosse stata una forte relazione fra il movimento dell'eclittica e le ore temporali è ormai chiaro, ed esposto esplicitamente da numerosi scrittori. Particolarmente importante è Otto Neugebauer nei suoi studi sull'astronomia antica. Come egli ben spiega in diversi suoi scritti, le ore temporali ebbero quasi certamente

origine in Egitto attorno al secolo XV a.C. Il loro numero e la loro natura era regolata da alcune costellazioni ovvero asterismi, chiamate decani. Questi gruppi di stelle così importanti per gli egizi erano situati sulla fascia oggi detta zodiacale e sorgevano regolarmente ogni ora.^{xx} Il passaggio fra i decani ed i segni zodiacali deve essere avvenuto in epoca ellenistica, quando, cioè, alcuni gruppi di stelle che giacevano sulla fascia dell'eclittica vennero idealmente gemellati a figure zoomorfe.

Beda, nel secolo VIII, sebbene in modo molto velato, è uno dei primi scrittori medievali a lasciarcene una testimonianza. Un'ora, egli scrive nel suo *De temporum ratione*,^{xxi} è divisa in quindici 'Parti'. La 'Parte', dice Beda, prende il proprio nome dalla particolare ripartizione del cerchio zodiacale (*Partes a partitione circuli zodiaci*). Un segno zodiacale è compreso entro trenta parti, ovvero due ore equinoziali, perciò la sua metà è pari ad un'ora; tanto quanto serve perché mezzo Segno ascenda sull'orizzonte o discenda sotto di esso. Questo è almeno quanto afferma Byrhtferth di Ramsey, glossatore attorno al 1000 dell'opera di Beda. E sempre Beda associa le diverse lunghezze dei giorni, e delle notti, con il quotidiano sorgere di sei segni zodiacali sull'orizzonte.

Sicuramente decisivo è un passo del suo *De temporum ratione*: i computisti criticati dal monaco di Jarrow, a proposito del loro modo di definire la lunghezza dell'anno, altri non sono che coloro che praticano l'astrologia, i *mathematicos*. Costoro, dice Beda, per preparare i loro oroscopi erano assai meticolosi nel rilevare, sia le ore, sia le loro frazioni. Partendo dallo zodiaco, suddiviso in dodici Segni, essi dividevano ogni segno in trenta parti e ogni parte – equivalente allo spazio percorso dal sole in un intero giorno – conteneva dodici punti, e poi i momenti, ecc. Questo passo di Beda non ha paralleli neppure nella sua stessa opera. In altri termini ogni punto della fascia equinoziale equivarrebbe, per gli astrologi, a due ore. Sarebbero queste le 'misteriose' ore naturali di cui molti autori scrissero, ed è comprensibile che il nostro non ne parli con molta voglia in quanto disprezza apertamente le credenze dell'astrologia divinatoria.^{xxii}

Altri riferimenti alla relazione fra le ore del giorno e lo zodiaco si trovano anche in Onorio d'Autun (*Unum ergo quodque signum per duas horas oritur, per duas occidit*). Tutto ciò, però, non è ancora sufficiente a farci intravedere una specifica relazione fra il movimento dell'eclittica e la divisione delle ore temporali. Guglielmo di Conches, nel suo famoso trattato *Dragmaticon Philosophiae*, sembra confermare quel che abbiamo appena ipotizzato.^{xxiii} Il suo modo di definire il concetto di 'ora' è così convincente che Vincenzo di Beauvais (1190 - 1264), nonostante le ben conosciute descrizioni di autori importanti, quali Isidoro e Beda, contrariamente ad altri suoi contemporanei, si avvale proprio della *Philosophiae* di Guglielmo per scrivere i capitoli: *'De partibus temporis et proportio de momentis et horis'* e *'De distinctione*

⁷ Consuetudines, LXXXIII: "Quod si dies jejunii fuerit, omnibus ordine praedicto celebratis, post sextam laici fratribus praeventibus intrantes dormitorium pausent in lectis suis usque ad horam octavam."

horarum equinoctialium in ortu et occasu signorum, della sua nota opera enciclopedica *Speculum Matus*.^{xv}

Il *Dragmaticon Philosophiae* di Guglielmo di Conches

È sempre difficile mettere assieme le varie parti di un discorso fra gli autori medievali, perché spesso le loro dichiarazioni non sono chiare in tutti i loro particolari, ed allora ci tocca leggere con molta attenzione fra le righe, mettendo assieme un pezzo qua ed un altro là. Guglielmo di Conches, uno dei massimi esponenti del rinnovamento scientifico-teologico chartriano del secolo XII, invece, non è per noi così avaro; meglio di molti altri, infatti, egli espone alcuni concetti del computo temporale in relazione al movimento dei dodici Segni.

Così scrive Guglielmo: «Ogni giorno contiene XII ore, ed altrettante XII ogni notte. Infatti, ogni giorno sorgono sei segni zodiacali e ogni notte altri sei.» e Vincenzo di Beauvais aggiunge: «Ciò che viene chiamato Zodiaco è diviso in XII parti uguali chiamate Segni, e a volte il giorno è lungo, altre volte corto, e lo stesso vale per le notti».

Come abbiamo già scritto sopra, i migliori testi di Computo allora in circolazione prendevano a piene mani dai libri di Beda e di Isidoro, e non si escudono i libri di Mauro Hrabano ed Onorio d'Autun. Nei loro testi l'ora era sempre definita come la dodicesima parte del giorno, lungo o corto che fosse. Guglielmo, invece, ci propone con risolutezza una definizione dell'ora temporaria particolarmente nuova: l'ora è il tempo che impiega mezzo Segno zodiacale per sorgere (*Hora est spacium in quo dimidium Signum oritur*). In queste poche e precise parole, Guglielmo ribalta d'un tratto la vecchia versione del concetto di ora e soprattutto subordina quest'ultima al movimento del cerchio zodiacale.

Beda e Onorio d'Autun, invece, costringevano ogni Segno a sorgere in due ore esatte, mentre Guglielmo, al contrario, stabilisce la lunghezza dell'ora secondo i veri tempi delle costellazioni. Egli porta in suo soccorso l'insegnamento di Marziano Capella spiegando le ascensioni rette e oblique dei dodici Segni.^{xvi}

Nicolao di Lyra e l'orologio del re Achaz

Nel secolo XIII alcuni autori descrivono la divisione del tempo in diversi modi. A mio parere, il più interessante di tutti è il normanno, frate francescano Nicolao di Lyra (1270-1340); uno dei più noti commentatori della Bibbia, a cui dedicherò uno studio approfondito prossimamente. Cade l'attenzione su di lui a causa di un passo del quarto libro dei Re, riferito alla retrogradazione dell'ombra sul famoso orologio di Achaz.

Nella discussione relativa l'evento miracoloso, Nicolao fa notare che al suo tempo esistevano due modi distinti di concepire la lunghezza delle ore.^{xvii}

“Alcuni” - scrive - “dicono che due linee (in un orologio solare) definiscono un'ora, ... Ma allo stesso tempo, altri affermano che un'ora è delimitata da una sola linea...”

Nonostante questa affermazione, i disegni sui manoscritti non mostrano orologi solari divisi correttamente in sei porzioni, ma sempre in dodici. Potrebbe essere un errore commesso dal primo illustratore e ripetuto poi nel tempo, comunque, molti orologi solari medievali europei testimoniano l'usanza descritta anche da Nicolao. Non è inusuale, infatti, che negli orologi solari medievali divisi in dodici settori, le doppie ore siano evidenziate con qualche particolare segno grafico, per esempio una croce, come mostrato nella figura 3.

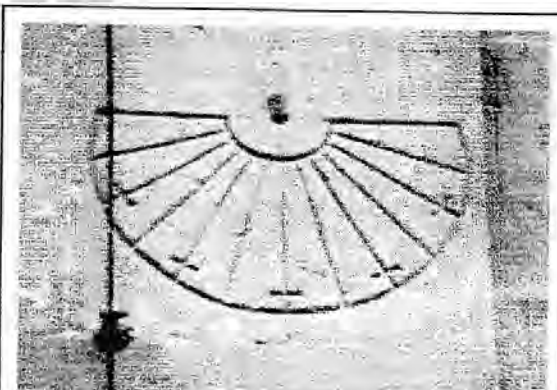


Fig. 3: Orologio solare medievale sulla chiesa parrocchiale di Schöngarbern, Grabern, Austria – lat. 48° 36'; lon. -16° 04'. (foto - Karl Schwarzingger)

Il commento di Francesco di Bartolo Da Buti alla Divina Commedia

La relazione intercorrente fra le ore del giorno ed i segni zodiacali viene ricordata esplicitamente anche da Francesco di Bartolo da Buti (1324 - 1406) nel suo *Commento alla Divina commedia*.^{xviii} Ho già avuto ampiamente modo di parlare di questo autore in passato dedicandogli un intero articolo,^{xix} ma è necessario ritornare brevemente su di lui perché la sua testimonianza è, forse, l'anello di congiunzione fra i paesi europei in cui si svilupparono maggiormente gli orologi solari esapartiti e la nostra penisola.

L'opera di Francesco da Buti, benché da tempo conosciuta dagli studiosi danteschi, vide la sua pubblicazione a stampa solo cinque secoli più tardi e forse non ebbe riconosciuti tutti i suoi meriti. Ciò che interessa questo studio, comunque, è solo una breve parte di questa. Francesco da Buti ad un certo punto del suo lavoro si sofferma molto sul commento della prima terzina del quindicesimo canto del Purgatorio, e nelle sue parole spiega inequivocabilmente la divisione del giorno in sei distinte porzioni; in un certo senso il suo testo è la trasposizione italiana del metodo descritto da Philippe di Thacon.

Una prima idea del suo modo di dividere il giorno (metodo certamente usato in territorio pisano nel secolo XIV) la possiamo leggere in questo breve passaggio:

«In questi cinque ternari lo nostro autore descrive lo tempo, e manifesta l'accidente che li avvenne, dicendo: Quanto; cioè, spazio, tra l'ultimar; cioè, tra il finire, dell'ora terza; che 'l Sole è montato suso dall'orizzonte in alto fino al punto dove si dice Tersa (Terza), perché è la tersa parte de lo spazio che è dall'orizzonte in fine al più alto luogo che monti lo sole, che è mezzo di'»

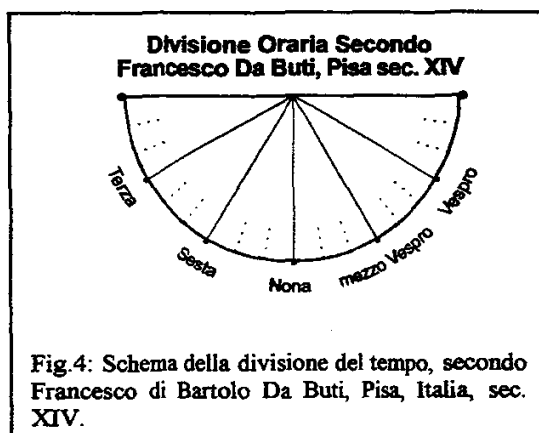
Ciò vuol chiaramente dire, che dall'alba al mezzogiorno, secondo l'uso conosciuto da Francesco da Buti, ci sono solo tre spazi ovvero ore.

È, questa, una strana etimologia della terza ora canonica, in altre parole egli ci dice che la Terza si chiama così non perché sia la terza ora del giorno, ma perché segue una strana e sconosciuta numerazione che il nostro autore intende spiegare con questo passaggio:

«Et a volere questo, dobbiamo sapere che lo nostro emiperio è diviso in sei parti eguali, incominciando da l'orizzonte orientale e finendo a l'orizzonte occidentale sì, che montando lo Sole la prima parte, fa Tersa; la seconda, la seconda Sesta; la tersa Nona e siamo al mezzo; poi incomincia a discendere, e sceso la prima parte, fa mezzo vespro; la seconda fa Vespro; e la tersa, sera; e chiamasi Tersa perché l'emisperio è distinto in parti 6 uguali; e così l'altro ancora; e fanno 12.»

Quindi, sei ore il giorno ed altrettante la notte. Ed ecco il loro legame con lo zodiaco:

«le quali (12 parti) segnerò per numeri ternari infine a 36, ... imperò che 12 Segni sono, che 6 nascono lo dì e 6 la notte...» (fig. 4).⁸



⁸ Da notare come questa divisione ternaria delle sei ore sia molto simile all'antica divisione egizia dei decani.

L'autore non ci rivela quali siano le sue fonti, né quale sia l'origine del suo tipo di computo, forse neppure lui lo sa, ma dalle sue parole si nota facilmente l'influenza della scuola francese e l'insegnamento di Guglielmo di Conches. Sicuramente queste nozioni furono filtrate dall'uso italiano e si relazionarono maggiormente con le ore canoniche. Probabilmente questo fu uno degli ultimi sistemi ecclesiastici di misura del tempo utilizzati prima della definitiva estinzione delle ore temporali. Il vecchio orologio solare del Ponte Vecchio a Firenze, per esempio, è una delle migliori prove giunte fino a noi della naturale coesistenza fra vari sistemi orari medievali in Italia, in un'unica città (fig. 5).

Orologio solare del 'Ponte Vecchio', Firenze, Italia, c. XIII

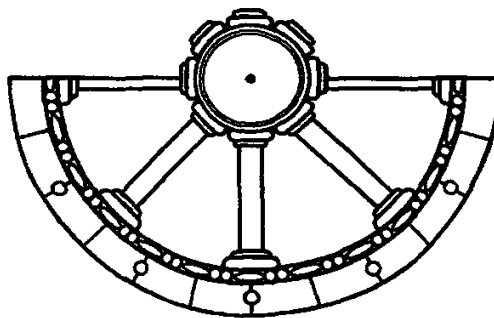


Fig.5: Restituzione grafica dell'orologio solare del Ponte Vecchio a Firenze, Italia, sec. XIII. Su questo orologio sono ben visibili tre sistemi orari medievali allo stesso tempo: le quattro ore mostrate dai raggi della ruota, le sei ore mostrate da piccole semisfere in rilievo sul bordo esterno, e le dodici ore sulle linee radiali incise sul cerchio esterno.

Conclusione

Allo stato delle cose è difficile poter trarre conclusioni indiscutibili su questo soggetto, in realtà tutto quello che sappiamo con certezza è che le doppie ore sono di origine molto antica, che sono collegate al movimento dell'eclittica, che furono utilizzate nel mondo greco-romano soprattutto a fini astrologici, che nel medioevo erano ancora utilizzate con gli stessi fini, e che furono usate dalla chiesa a scopi liturgici. Non sappiamo se nel medioevo coloro che usavano una simile divisione fossero coscienti della sua origine, non sappiamo neppure con precisione come giunse in occidente la divisione esapartita degli orologi, forse non era mai stata dimenticata, o forse fu reintrodotta da qualche autore arabo o greco-bizantino. Come si vede i 'buchi neri' sono ancora molti, tuttavia vorrei tentare almeno qualche semplice ipotesi.

Il rinnovamento del pensiero scientifico e filosofico delle scuole tedesche e francesi, soprattutto quella chartriana, ci sembra aver permesso il lento abbandono dell'antica divisione quadripartita romana e la formulazione di altre ipotesi sulla divisione del giorno, sia naturale (ventiquattro ore), sia artificiale (dodici ore). L'introduzione dei nuovi testi arabi nell'Europa cristiana spronò le menti dei secoli XII e XIII alla rilettura dei testi scientifici greci, molti dei quali sconosciuti prima di allora. La diffusione di nuovi strumenti scientifici, come l'astrolabio ed il quadrante, stimolò sempre più ad una verifica delle varie teorie astronomiche e astrologiche. Da tutte queste innovazioni sembra rinascere l'uso delle doppie ore.

La relazione delle ore del giorno con le costellazioni, al di là di una logica meccanica celeste, era già molto sentita dai Padri della chiesa anche per stabilire i tempi di preghiera. Nel secolo VI, per esempio, Gregorio vescovo di Tours consigliò l'osservazione delle stelle per conoscere la giusta ora del Servizio notturno^{xxx} (altrettanto conosciuto è, il carme pacifichiano sul *Horologium Nocturnum*; versi talmente noti da essere copiati in molti manoscritti), e piccoli manuali, per lo più fogli promemoria, destinati ai monaci e ai sacrestani preposti alla chiamata notturna dei confratelli, venivano redatti sicuramente in molti monasteri.^{xxx}

In conclusione potremmo dire che le sei ore del giorno provenienti dall'antichità, siano rinate, dopo tanti secoli negli ambienti colti e scientifici delle grandi scuole medievali e adattate all'uso di allora. Ma sei erano anche le ore canoniche diurne, e queste spesso non coincidevano più con le vecchie posizioni della terza, sesta e nona ora temporaria antica. La semplicità della costruzione degli orologi solari medievali murali, portò i monaci di quel tempo ad utilizzare il modello grafico di base formato da sei linee inscritte in un semicerchio ed equidistanti fra loro. Era, oltre tutto, molto più semplice e diretto suddividere un quadrante in tre settori anziché due. Alle comunità religiose che vivevano nei piccoli monasteri di campagna non importava la 'scientificità' dell'oggetto quanto la sua praticità. L'anticipazione della recita delle ore canoniche, che nel secolo XII era già molto radicata in Europa, rendeva impreciso il rilevamento del giusto tempo di preghiera sugli antichi orologi quadripartiti e impraticato su quelli a dodici settori. Raggruppando, invece, le ore temporali a due alla volta, si rendeva estremamente più facile ricordarle (ce lo ha confermato Philippe di Thaon), si aggiungeva precisione agli orologi divisi in quattro settori e si semplificavano quelli con dodici. La divisione in sei parti fu, perciò, una innovazione subito ben accolta e lo dimostra la grande quantità di orologi solari di quel tipo che dalla Francia si sparsero poi verso le nazioni vicine, soprattutto quelle connesse dalle grandi vie di pellegrinaggio.

Bibliografia

ⁱ S.L. Gibbs, *Greek and Roman Sundials*, Yale Univ. Press, New Haven and London, (1976), pp. 150, 162, 240, 292, 296.

ⁱⁱ M. Arnaldi, 'Le frazioni dell'ora temporaria, dall'antichità al medioevo', *Gnomonica – Organo della Sezione Quadranti Solari dell'U.A.I.*, n° 4, pp. 27-29, settembre (1999).

ⁱⁱⁱ H.H. Davis, 'The Horologium and Symbolism', *The Classical Weekly*, vol. 49, n. 6, January 9 (1956), Whole n. 1201.

^{iv} G. Schiaparelli, *Scritti sulla storia dell'Astronomia Antica*, tomo I (Bologna, 1925).

^v Sextus Empiricus, *Adversus Mathematicos*; Macrobius, *Somnium Scipionis*, I, 21.

^{vi} O. Neugebauer, 'Studies in ancient astronomy. VIII. The water clock in Babylonian astronomy', *Isis*, 37, (1947); sull'uso delle clessidre da parte degli egizi vedi anche, O. Neugebauer e Richard A. Parker, *Egyptian astronomical texts*, vol. I, pp. 119-121, published for Brown University press, Providence, Rhode Island, by Lund Humphries, London, England (1960).

^{vii} David Pingree and Erica Reiner, 'A Neo-Babylonian Report on Seasonal Hours', *Archiv fuer Orientforschung*, pp. 50-55.

^{viii} Epiphanius of Salamina, *Adversus Octaginta Hareses*, Migne, PG, 41-42; hær. XXIV, 7; hær. LI, 26; hær. LI, 29; hær. LXX, 13.

^{ix} Bede il Venerabile, *De temporum ratione*, 39, Migne P.L. xc.

^x Pseudo Alcuino, *De cursu et saltu lunæ ac bissexto*, Migne, P.L. ci, coll. 979-1002; vedi anche il *Liber de computo*, scritto a Bobbio nel sec. IX, pubblicato da Migne, P.L. cccix, coll. 1273-1370.

^{xi} D. Scott, 'Sundials in Anglo-Saxon England, part 3: the middle period – Darlington and Pitlington', *B S S Bulletin*, v.11, 99.3, 122-28 (1997).

^{xii} M. Arnaldi, *Ancient sundials of Ireland*, ed. B.S.S. 2000, London, (1999).

^{xiii} Dáibhí Ó Cróinín, 'The Irish provenance of the Bede's Computus', *Peritia*, vol.2, (1983), pp. 229-47; vedi anche

Charles W. Jones, *Beda opera de temporibus*, Medieval Academy of America, publ. 41, Cambridge, Mass, (1943).

^{xiv} Daibhi Ó Cróinín, 'Mo-Sinu maccu Min and the computus of Bangor', *Peritia* 1, 352-62, (1982).

^{xv} Philippe de Thaon, *Comput*, (Ms. BL Cotton Nero A.V), Plain texts series 2, London, (1984), Anglo-Norman Text society; Philippe de Thaon, *Li Cumpoz Philipe de Thain*, ed. E. Mall, Strasburg, (1873).

^{xvi} D. Alighieri, *Convivio*, iv, xxiii, 14,16.

^{xvii} G. Bilfinger, *Die Mittelalterlichen Horen und die Modern Stunden*, p. 31, Stuttgart, (1892). [d'ora in poi: Bilfinger, *Mittelalterlichen Horen*]

^{xviii} M. Arnaldi, 'Orologi solari dipinti nel chiostro del convento di s.Domenico a Taggia', *Gnomonica – Organo della Sezione Quadranti Solari dell'U.A.I.*, n° 5, pp. 12-17, gennaio (2000). Versione italiana di un articolo scritto qualche anno prima per il *Bulletin* della BSS, e *Analema* bollettino della Asociación de Amigos de los Relojes de Sol. [d'ora in poi: Arnaldi, *Orologi solari*].

^{xix} Bilfinger, *Mittelalterlichen Horen*, pp. 22-39.

^{xx} O. Neugebauer, *Le scienze esatte nell'antichità*, Feltrinelli, (1974).

^{xxi} Beda il Venerabile, *op cit.*, col. 304 e glossæ.

^{xxii} *Ibid.*, coll. 305-306.

^{xxiii} Guglielmo di Conches, 'Dialogo della filosofia', lib. iv, *Il Divino e il Megacosmo; testi filosofici e scientifici della scuola di Chartes*, a cura di Enzo Maccagnolo, dialogo IV, 241-453, Milano, (1980).

^{xxiv} V. Bellovacensis, *Speculum Naturale Vincentii*, T. 3, Venetiis, 1494.

^{xxv} Martianus Capella, *De Nuptiis Mercurii et Philologiae*, 1, 8, 844.

^{xxvi} Nicolaus de Lyra, *Liber Vitae*, T. 1, *Regum IIII*. xx, Venetiis (1495).

^{xxvii} F. da Buti, *Commento alla Divina Commedia*, Pisa, (1858).

^{xxviii} M. Arnaldi, 'Francesco di Bartolo da Buti e la misura del tempo', *Gnomonica – Organo della Sezione Quadranti Solari dell'U.A.I.*, n° 6, pp.12-15, maggio (2000). Versione italiana di un articolo scritto qualche anno prima per il *Bulletin* della BSS, e *Analema* bollettino della Asociación de Amigos de los Relojes de Sol.

^{xxix} Gregorio di Tours, *De Cursu Stellarum*, ed by B. Krusch, *Monum. Germ. Hist., Script. rerum merovin.* 1.2, Hanover (1885).

^{xxx} R. Poole, 'A monastic star time table of the eleventh century', *The journal of the theological studies*, 16, London (1915); Giles Constable, 'Horologium Stellare Monasticum', *Consuetudines Benedictinae Variæ: (sæc. II – sæc. 14)*, cooperatibus D.F. Avagliano e altri, Sieburg, apud Franciscus Schmitt, (1975).

LA "MERIDIANA DEL PARCO" A BARI
Francesco AZZARITA

Estratto:

Il relatore illustra il progetto di questa Meridiana monumentale collocata nel Parco di Largo due Giugno a Bari, le particolarità progettuali, costruttive e funzionali.

"Adesso è mezzogiorno: e così il Sole ha collaudato il mio orologio da polso" esclamò uno dei presenti nel vedere il segnale di luce attraversare la curva del tempo su questa Meridiana che segna esclusivamente il mezzogiorno a tempo medio dell'Europa Centrale.

La costruzione di questa meridiana in un parco pubblico fu proposta all'amministrazione comunale di Bari dall'A.B.A. - Associazione Barese Astrofili allo scopo di offrire ai cittadini uno spunto di riflessione sul significato del tempo e sui rapporti tra i corpi celesti ai quali siamo legati: la terra ed il sole.

La progettazione

La progettazione di massima ed i calcoli attuativi furono eseguiti dall'Ing. Antonio Rini – ben noto agli gnomonisti italiani – e dal relatore allo scopo di costruire uno strumento di facile lettura, collegabile alle costellazioni in cui il sole transita, ma nello stesso tempo diverso da un ordinario orologio solare.

Si decise di optare per una meridiana, non orologio, che segnasse solo il tempo medio e che fosse collegata alle ore dodici dei comuni orologi da polso, ma anche adatta agli spazi aperti di un grande parco, quindi monumentale e per di più in pietra locale di Trani.

Una meridiana pura al solo tempo medio è abbastanza rara; infatti ce ne sono molte di meridiane a tempo medio, ma inserite in orologi solari fra altre ore a tempo medio o a tempo vero. E ci sono anche meridiane pure, ma a tempo solare vero e non a tempo medio: un esempio famoso è quella di piazza Montecitorio a Roma che segna il mezzogiorno vero col fascio di luce che passa attraverso la fenditura nella sfera sull'obelisco

La progettazione doveva altresì tenere conto delle esigenze dello scultore al quale sarebbe stata affidata la concreta realizzazione; egli avrebbe trovato ordinario il lavoro di scultura delle figure zodiacali, ma certamente avrebbe avuto bisogno di un supporto nel tracciare accuratamente la curva allungata "ad otto" e nel posizionare correttamente nella terra i blocchi di pietra che compongono l'insieme dell'opera.

Si decise di strutturare l'opera nell'insieme di due monoliti asimmetrici, allineati nel piano del meridiano, e collegati tra loro da un piano di base orizzontale a livello di terra.

Il monolito più alto è quello anteriore, cioè rivolto al sole, misura 3,75 metri di altezza e porta incisa in alto una fenditura larga 2,7 cm ed alta 12 cm.

Attraverso tale fenditura passa un raggio di luce che, a mezzogiorno T.M.E.C., colpisce la faccia anteriore del secondo monolito – che misura 3,60 metri di altezza - sulla cui superficie (rivolta a sud) è scolpita la curva "ad otto" che costituisce il piano di lettura.

Fu necessario definire, in anticipo per lo scultore, l'insieme di punti che compongono detta curva; a ciò si giunse col sistema delle coordinate verticali ed orizzontali a partire rispettivamente dal livello di terra, cioè dalla linea di affioramento del monolito dal terreno, e da una linea verticale meridiana, e quindi segnando i punti a sinistra o a destra della medesima, secondo il caso.

Venne così disegnata su carta, in grandezza reale, una sagoma della curva ad otto; ad intervalli regolari detta linea venne marcata con fori da 4 mm mediante apposita fustellatura di modo che l'artista, poggiando il foglio sulla facciata a sud del secondo monolito, potesse poi segnare dei punti attraversi i fori fustellati e riportare così la sagoma della curva, per poi scolpirla (FIG.1).

La predisposizione all'impianto

Per poter posizionare correttamente i monoliti si dovettero tracciare sugli stessi (e poi cancellare) delle linee di riferimento e precisamente:

- sul monolito anteriore (più alto) una linea verticale dalla fenditura in alto sino alla base che scorresse in modo parallelo allo spigolo verticale. Fu necessario altresì segnare la linea di affioramento del monolito dal terreno in quanto entrambi i corpi di pietra vennero poi interrati ed affogati nel calcestruzzo (FIG.2).
- sul monolito posteriore (quello portante la superficie ricevente del quadrante) una analoga linea verticale, cioè il mezzogiorno vero solare o T.V.S.L., prolungata anch'essa sino alla linea di affioramento dal terreno (FIG.3).

I due monoliti così segnati andavano impiantati nel terreno e bloccati nel calcestruzzo in modo da essere allineati nel piano del meridiano, passante attraverso le rispettive linee verticali riportate.

Il procedimento preliminare di impianto

Il piano di impianto dei monoliti fu sistemato con l'asse orientato per nord-sud in via approssimata (FIG.4).

Su questo piano di impianto reso perfettamente orizzontale, nel lato a sud, venne segnato, esattamente alla metà, un punto nel quale venne collocato uno stilo verticale di 100 cm di altezza; quindi col metodo dei cerchi concentrici furono segnati, sulle due circonferenze, i punti in cui l'ombra della punta dello stilo andava a segnare ore simmetriche antimeridiane e pomeridiane (FIG.5).

Venne tracciata la bisettrice di quest'ultimo angolo: cioè linea nord.sud (FIG. 6) tra i siti di alloggiamento dei due monoliti e, precisamente, dal punto medio dell'uno al punto medio dell'altro (FIG.7)

I siti di alloggiamento furono scavati più ampi dei monoliti, in modo da consentire la regolazione necessaria.

L'impianto della meridiana

Preliminarmente tra i due monoliti venne posizionato il piano di calpestio e verificato come perfettamente orizzontale, in modo da poter effettuare un corretto trasporto della linea nord- sud, di cui abbiamo detto avanti (FIG. 8)

L'impianto vero e proprio venne effettuato calando il monolito anteriore (quello con la fenditura) nel suo alloggiamento in modo da far coincidere la linea segnata di verticalità con la testa della linea nord sud segnata sul piano di calpestio; quindi, verificata accuratamente la verticalità del

monolito nonché il parallelismo delle sue facce laterali con la linea nord-sud, il monolito venne definitivamente fissato sino alla linea di affioramento (FIG.9).

Analogamente il monolito posteriore venne calato nel suo alloggiamento facendo coincidere la linea verticale con la testa della linea sud-nord segnata sul piano di calpestio, sino all'affioramento. Quindi, verificata la verticalità del monolito e la sua ortogonalità rispetto al monolito anteriore, nonché la prefissata distanza tra i due monoliti, che doveva essere di 1.100 mm. (FIG.10), anche il secondo monolito venne fissato

La lettura della meridiana

La meridiana indica il mezzogiorno a tempo medio dell'Europa centrale quando il segnale di luce proiettato dalla fenditura posta alla sommità del monolito anteriore, scorre sulla faccia a sud del secondo monolito, attraversando il bordo della curva allungata, a forma di otto.

Poiché questo segnale di luce scorre orizzontalmente, nel breve periodo intorno al mezzodì, attraversa, uno dopo l'altro, entrambi i bordi della linea curva. Occorre perciò ogni volta stabilire su quale bordo, di sinistra o di destra, si debba leggere il mezzogiorno attuale (FIG.11).

A tal fine bisogna innanzi tutto individuare, approssimativamente, la data in corso cercandola lungo la curva ad otto seguendo i segni zodiacali. E' noto a tutti che oggi molti ricordano, meglio delle date, i segni zodiacali.

Fatto ciò occorre attendere che il segnale di luce attraversi quel bordo della curva: in quel momento sono le ore dodici sul nostro orologio da polso, se ben regolato.

La meridiana è arricchita, come abbiamo visto, con i segni zodiacali, opera dell'artista Antonio Paradiso che ha scolpito l'intero complesso, e con un motto: "Solis, Scientiae et artis opus"

Un pannello con tabella spiega al pubblico il funzionamento della meridiana ed in particolare come leggere il mezzodì.

Qualcuno racconta che il 16 aprile 1988, giorno dell'inaugurazione, il gruppo dei presenti, alcuni dei quali tutt'altro che profani, ebbe una sgradita sorpresa: quando gli orologi da polso indicavano le 12, l'ombra della fenditura, ed il segnale di luce, erano ben lontani dalla posizione prevista ed attesa. Nessuno di loro aveva pensato che, essendo aprile, era in vigore l'ora legale estiva; dovettero così attendere pazientemente le ore 13 legali.....e il fenomeno si verificò puntualmente.

NOTA (Zuccalà)

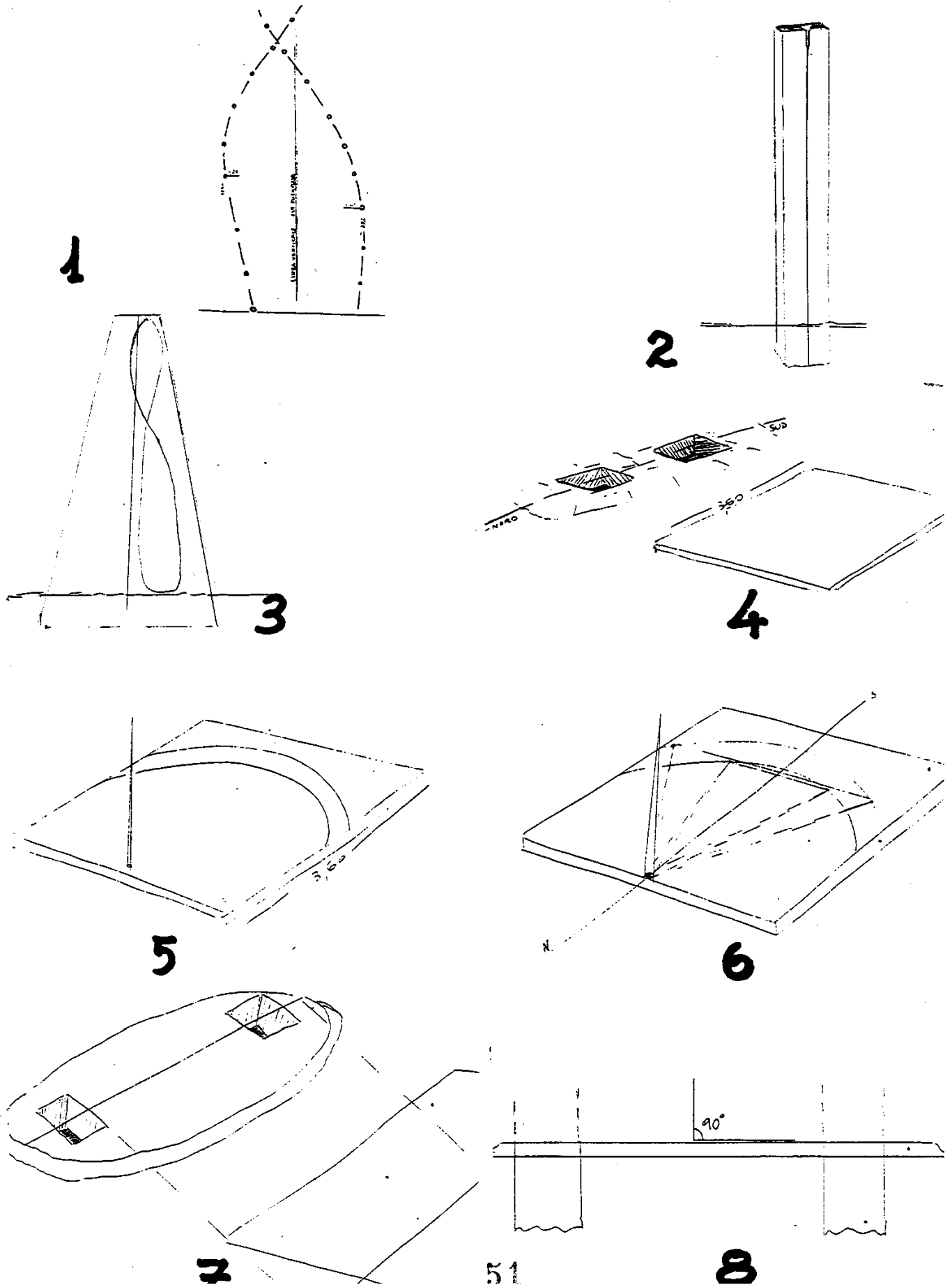
Osservando le immagini e la stessa meridiana si potrebbe cadere in un errore e cioè riconoscere, come linea del mezzogiorno al TVSL, la scanalatura verticale che è scolpita sopra e sotto, ed in corrispondenza del punto medio della doppia curva del tempo.

Tale scanalatura è stata invece segnata dallo scultore per mero errore o, probabilmente, solo al fine di posizionare bene la linea curva.

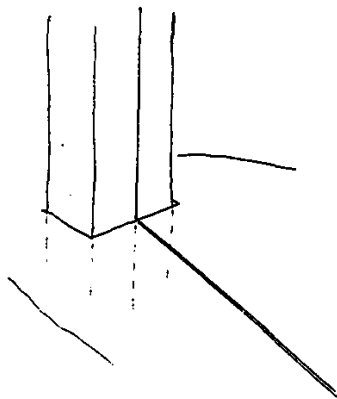
La linea verticale del mezzogiorno al TVSL non è segnata sulla meridiana, ma la sua ubicazione è indicata da due segni "+" sul lato sinistro guardando la curva, in alto ed in basso.

Ed infatti, tracciando la congiungente (verticale) tra quei punti indicati, si disegna la linea del mezzogiorno al TVSL di Bari che, pertanto, non passa per il punto medio della curva, ma la interseca nelle date del 10 gennaio e del 21 marzo quando a Bari l'equazione del tempo è pari a zero.

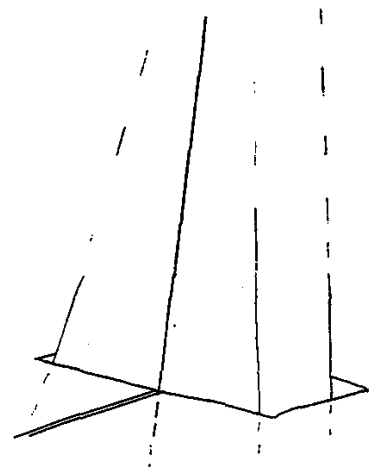
FIGURE



FIGURE



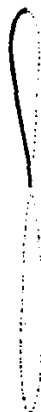
9



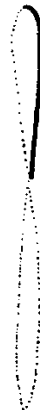
10



dal 21
dicemb.
al 13
Aprile



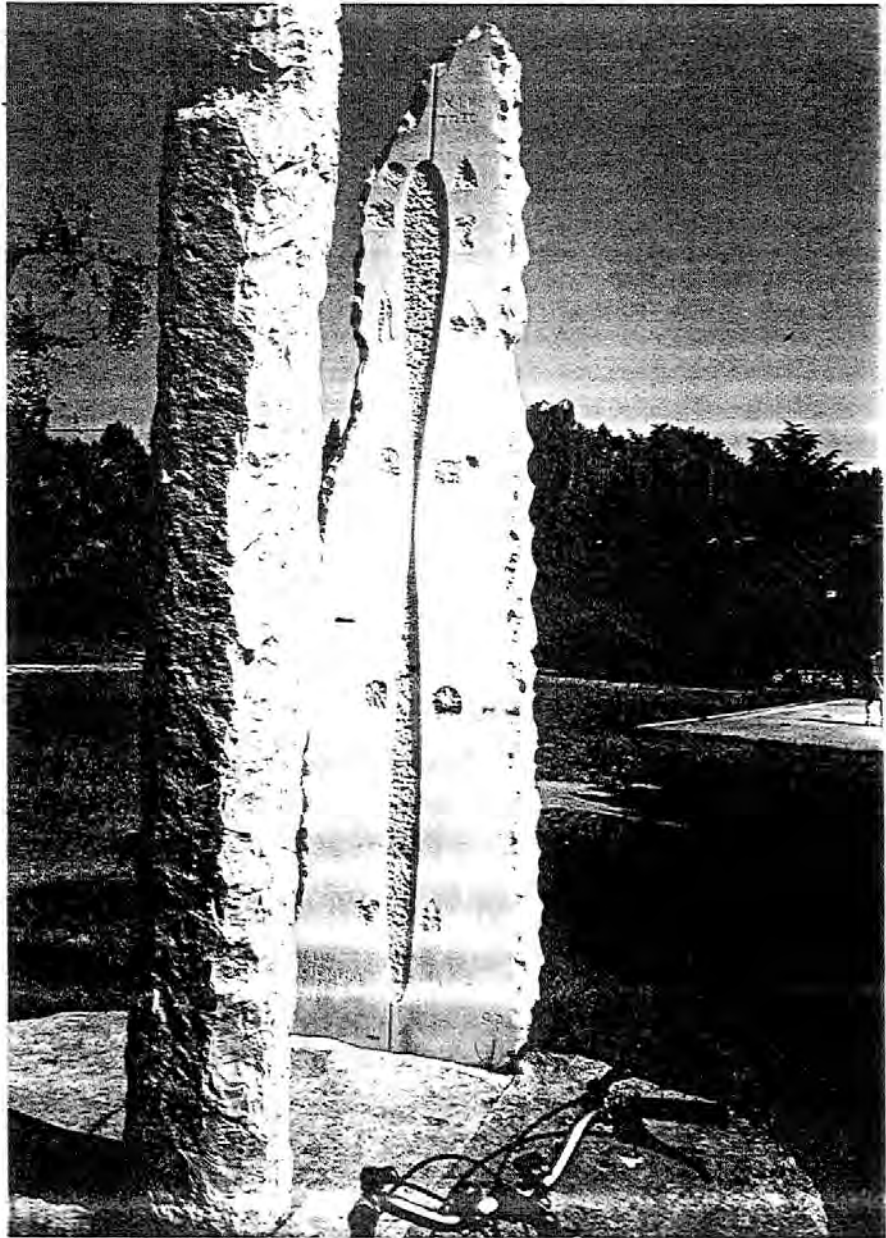
dal 30
Agosto
al 21
Dicemb.



dal 13 Aprile
al 21 Giugno

dal 21 Giugno
al 30 Agosto

11



DOPPIO FORO GNOMONICO A S. MARIA DEGLI ANGELI MARIO CATAMO

ESTRATTO

In occasione dell'eclisse solare dell'11 Agosto 1999 l'Autore ha fotografato le diverse fasi del fenomeno sulla Meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli. Nell'occasione ha rilevato una sorprendente particolarità, costituita dall'esistenza di due fori gnomonici, uno orizzontale ed uno verticale, posizionati in modo da ottenere la sovrapposizione, peraltro non perfetta, di due immagini luminose. L'esistenza di due fori non è stata citata dall'Autore della Meridiana, l'astronomo del '700 Francesco Bianchini, né dagli studiosi che hanno ampiamente descritto, anche in tempi recenti, la Meridiana.

In occasione dell'eclisse solare dell'11 agosto 1999 ho potuto fotografare le diverse fasi del fenomeno sulla Meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli, a Roma.

La situazione meteorologica era buona: il cielo era sereno e privo di foschia. Non altrettanto favorevole era la situazione nella Chiesa: la Meridiana era in fase di restauro ed ho dovuto superare non poche difficoltà per riprendere l'immagine del Sole via via che esso si andava eclissando. Non ho potuto usare l'indispensabile cavalletto ma ciò malgrado le immagini sono risultate accettabili, sono state pubblicate su alcune riviste e hanno fatto mostra di sé su diversi siti Internet.

Nell'occasione è emersa una sorprendente particolarità. La porzione non eclissata dell'immagine solare è apparsa sdoppiata: al di sopra della nitida immagine luminosa che chiamerò "principale" si è stagliata una seconda immagine, che chiamerò "secondaria", molto meno luminosa e tuttavia percettibile, come risulta evidente dalla figura 1.

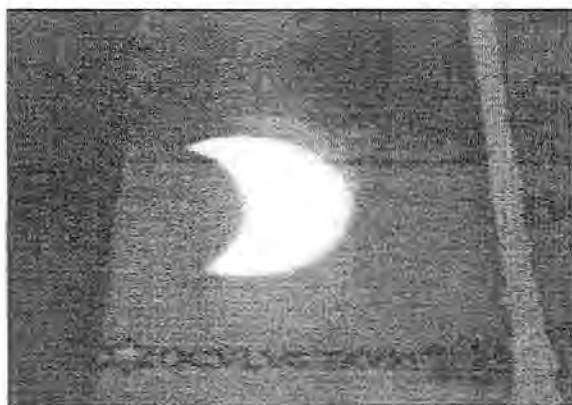


Fig. 1

Ho voluto verificare che cosa sarebbe accaduto dopo l'eclisse: la figura 2 mostra che l'immagine secondaria permane e che l'eclisse è stata solo l'occasione per percepire chiaramente il fenomeno.

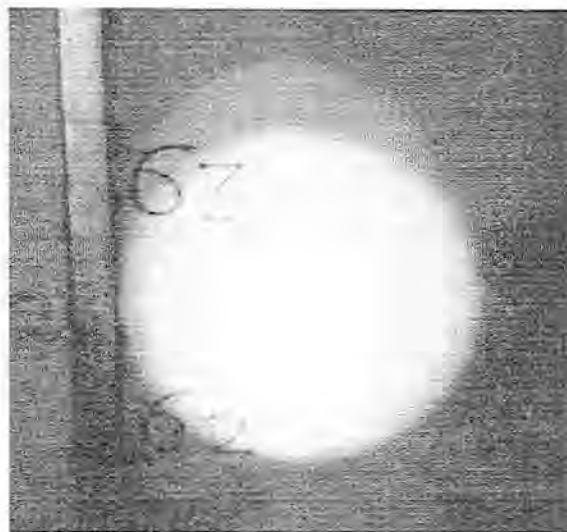


Fig. 2

Non ho potuto eludere l'esigenza di indagare sulle sue cause ed ho raggiunto il foro, superando non poche intuibili difficoltà.

La situazione che si è presentata ai miei occhi è stata fonte di nuovo stupore. Sul fondo della feritoia conica esterna, aperta nella parete della Chiesa a 20.32 metri di altezza per permettere il passaggio dei raggi solari, è fissata una sottile lastra metallica **orizzontale** che aggetta nella Chiesa. Nella lastra è praticato il foro gnomonico attraverso il quale passano i raggi di luce che disegnano l'immagine del sole sul pavimento, attraversando, al momento della culminazione sul Meridiano locale, la riga di bronzo della Linea Meridiana.

L'Autore della Meridiana, nella memoria "De nummo et gnomone Clementino", pubblicata a Roma nel 1703 parla di un foro, praticato mediante un punteruolo cilindrico, avente un diametro pari alla millesima parte dell'altezza del foro gnomonico, dunque 2 cm. Sul diametro e sul suo rapporto con l'altezza del foro Bianchini è esplicito: sono valori stabiliti ad imitazione dell'operato di Giovan Domenico Cassini nella costruzione della Meridiana di San Petronio.

Il foro invece non è circolare ma è costituito da un'ellisse non priva di irregolarità, e non ha un "diametro" di 2 cm ma un asse maggiore di circa 5 cm ed uno minore di circa 2 cm. Credo che non debba sorprendere la circostanza che, malgrado l'irregolarità del foro, l'immagine sul pavimento della Chiesa sia una **regolare** immagine solare, prima quasi circolare al solstizio d'estate e poi gradatamente ellittica via via che percorre il suo tragitto fino al solstizio d'inverno. La Meridiana di Santa Maria degli Angeli è una Meridiana a camera oscura e il foro gnomonico è un foro stenopeico. La forma del foro, a meno di gravi irregolarità, non influisce sull'immagine solare proiettata sul pavimento, mentre devono essere perfettamente calcolate e rispettate la posizione e la distanza dell'apertura dal piede della perpendicolare al pavimento sul cui piano è tracciata la Linea Meridiana.

Quello che può invece sorprendere è la circostanza che Bianchini non abbia neppure minimamente accennato alla forma del foro, accreditando anzi l'immagine della sua circolarità, confermata dal riferimento al diametro, cioè ad un parametro che appartiene al cerchio e non all'ellisse.

Ma il vero stupore è causato da un altro elemento della costruzione. Prima di parlare occorre ricordare che Bianchini utilizzava la costruzione anche per osservare il passaggio delle stelle al meridiano in pieno giorno, grazie a cannocchiali di enorme lunghezza. A tal fine aveva praticato una finestrella munita di cardini, posta al di sopra del foro gnomonico, in posizione tale da non impedire il passaggio dei raggi solari quando si desiderava il funzionamento del grande strumento astronomico come meridiana solare; la finestrella veniva aperta per consentire l'osservazione del passaggio delle stelle al Meridiano.

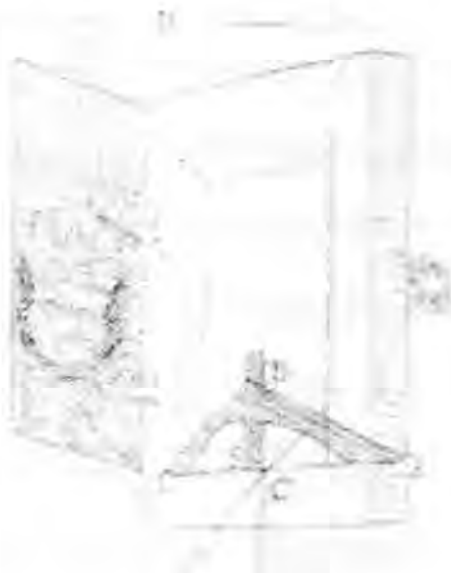


Fig. 3

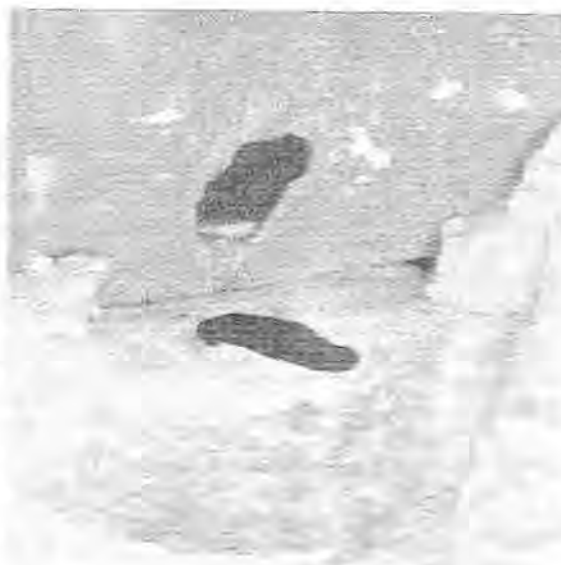


Fig. 4

Al suo posto veniva collocata una lamina metallica provvista di un foro semicircolare, di cui il Bianchini ci ha lasciato il disegno, pur senza indicarne le dimensioni. Elemento essenziale della lamina (figura 3) è il traguardo verticale. Attualmente è presente una finestrella metallica nella quale è praticato un secondo foro, verticale, ellittico, disposto quasi simmetricamente rispetto al foro orizzontale, del quale ripete, pur non esattamente, le dimensioni. La finestrella è in posizione leggermente più avanzata verso l'interno della Chiesa. Questa finestrella con foro verticale ellittico non ha nulla a che vedere con la lamina provvista di foro semicircolare e di traguardo verticale di cui parla Bianchini.

La figura 4 mostra chiaramente la situazione. Il foro in basso è quello orizzontale, mentre il alto si staglia il foro verticale, più avanzato, di qualche centimetro, nella direzione Nord, rispetto al foro orizzontale.

È questo secondo foro che proietta la pallida immagine secondaria la quale, pur non disturbando gravemente il funzionamento della Meridiana, costituisce un'anomalia su cui sembra utile fare delle considerazioni.

Bianchini non ha mai parlato di questo foro. Appare abbastanza improbabile che l'abbia praticato e lasciato aperto, senza dare spiegazioni e incorrendo nel rischio che osservatori attenti si accorgessero della cosa.

Stupisce poi che non ne abbia mai parlato nessuno tra coloro che hanno scritto ponderose monografie sulla Meridiana (Alberti Poja e Armando Schiavo). Nell'opera di Alberti Poja non sono presenti fotografie che documentino la sua conoscenza della situazione. In quella di Schiavo sono invece presenti fotografie, scattate presumibilmente verso la metà degli anni '70 in cui l'immagine solare appare sdoppiata (figura 5). Eppure quest'autore, che ha dedicato molti anni della sua vita allo

studio e all'osservazione della Meridiana, non si è accorto di nulla!



Fig. 5

Ancora più sconcertante è che un astronomo americano citato da Schiavo, F. Bruin, il quale negli anni '60 ha esplorato attentamente la feritoia contenente i due fori, eseguendo controlli e misure, si sia limitato a misurare in 4 cm quello che chiama il "diametro" del foro, senza il più piccolo cenno alla forma ellittica e soprattutto tacendo sull'esistenza del secondo foro.

Vorrei tentare di ipotizzare delle spiegazioni, conscio che sono frutto di mere congetture, augurandomi che studi più approfonditi facciano luce su questo piccolo mistero.

Osservando attentamente il foro verticale si nota lungo l'intero suo margine un contorno che può far pensare al dissaldamento di una piastra che lo occultava. In altri termini si potrebbe congetturare che il Bianchini, per ragioni che non ci sono chiare, abbia praticato e poi richiuso il foro verticale saldandovi sopra una lamina metallica, la quale potrebbe essere stata staccata lentamente dagli agenti atmosferici lasciando il foro come appare attualmente. Questa è in realtà una debole ipotesi che studi successivi potranno comunque confermare o smentire. Quello che riesce difficile accettare è l'idea che un personaggio del livello di Bianchini abbia deliberatamente praticato, lasciandolo aperto, un foro che nuoce alla rigorosa correttezza di un'opera che è vanto dell'astronomia del 1700.

Altra congettura possibile è che nei tre secoli che ci separano dalla costruzione della Meridiana, siano state effettuate manomissioni che hanno modificato la costruzione originaria di Francesco Bianchini. Non si deve dimenticare che una manomissione di eccezionale rilevanza è stata portata a termine poco prima del 1750 per effetto del rifacimento vanvitelliano della basilica

micelangiotesca. In tale circostanza fu soppresso lo "gnomone boreale", cioè un foro gnomonico praticato nella direzione Nord, allo scopo di proiettare sul pavimento della Chiesa le orbite della stella polare per ottocento anni, dal 1700 al 2500. A testimonianza di questa straordinaria opera del Bianchini sopravvivono, in prossimità del punto di inizio della Linea Meridiana, le incisioni delle orbite della stella polare negli anni corrispondenti ai Giubilei, ma il foro gnomonico settentrionale fu soppresso dal Vanvitelli: a suo ricordo è rimasta, fuori posto, la croce metallica provvista della fessura attraverso cui veniva proiettata l'immagine della stella polare.

Nessuno può dire, allo stato attuale delle nostre conoscenze, se in questa o in altre occasioni siano state eseguite manomissioni che abbiano portato alla presenza del doppio foro: quello che è certo, stando a quanto scrivono Alberti Poja e Schiavo, è che numerosi astronomi (Anders Celsius, Angelo Giovanni de Cesaris, Ruggiero Boscovich) nei tre secoli di vita hanno "visitato" la Meridiana, eseguendovi controlli e misure, tutte con risultati disomogenei (naturalmente entro limiti molto ristretti) quanto all'esattezza della sua costruzione. Questa disomogeneità, sia detto per inciso, non gioca a sfavore della maestria di Francesco Bianchini, ma piuttosto a sfavore dei suoi "controllori".

L'obiettivo che mi propongo con questa relazione è quello di richiamare l'attenzione della comunità gnomonica italiana sulla particolarità rilevata, nell'auspicio di interventi di studio e di ricerca che facciano luce su quanto è accaduto a questa insigne opera e di eventuali informazioni a me sfuggite; l'occasione è propizia per riprendere il discorso della salvaguardia e valorizzazione di questo eccezionale strumento astronomico. Recentemente la Meridiana è stata restaurata. Duole dire che si tratta di un restauro assai maldestro, come documenta la fotografia riportata nella figura 6.

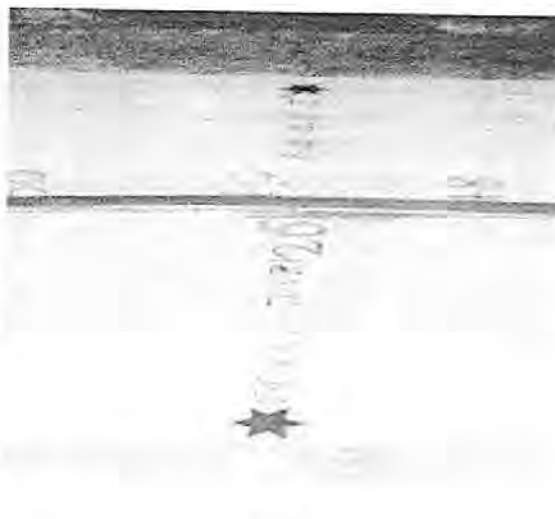


Fig. 6

Dopo pochi mesi dal restauro la riga di bronzo si è gravemente inarcata in numerosi punti e in alcuni tratti appare addirittura deviata. Questo accade mentre la Harvard University Press pubblica la splendida opera di un noto studioso americano, J. L. Heilbron, "The Sun in the Church", dedicata al ruolo delle Cattedrali (quasi tutte italiane) definite giustamente come i migliori osservatori solari nel mondo tra il 1650 e il 1750. Qualcuno sarà chiamato a rispondere del danno arrecato a questo insigne monumento storico, scientifico e artistico?

Quanto alla immagine secondaria, sarebbe forse auspicabile un provvedimento provvisorio, revocabile quando si saranno chiarite, se mai sarà possibile, le circostanze che hanno determinato la comparsa del foro verticale. Si tratterebbe di "oscurarlo" con una maschera rimovibile, ridando all'immagine del sole la nitidezza che gli aveva dato Francesco Bianchini e che hanno le altre Meridiane a camera oscura, vanto e privilegio del nostro Paese.

Mi piace chiudere questo intervento con la fotografia (figura 7) del disco solare mentre sta varcando la Linea Meridiana di Santa Maria degli Angeli al mezzogiorno locale vero del 27 agosto 2000. La colatitudine di Santa Maria degli Angeli è $48^{\circ} 5' 33''$; la declinazione solare alla stessa ora del 26 agosto è $9^{\circ} 51' 36''$. L'altezza del Sole è perciò $57^{\circ} 57' 9''$. La cotangente di tale valore è 0.626, in centesimi 62.6. Il disco di luce sta tagliando la Linea Meridiana appena un poco oltre la metà della distanza tra le due cifre incise a destra della linea meridiana, quindi, con ottima approssimazione, a 62.6. Malgrado il lieve spostamento della posizione dell'immagine del sole lungo l'asse della Meridiana, per effetto della diminuzione trisecolare dell'obliquità dell'eclittica, e soprattutto malgrado maltrattamenti immeritati, la Meridiana di Francesco Bianchini compie ancora con onore, dopo tre secoli di vita, il suo dovere.

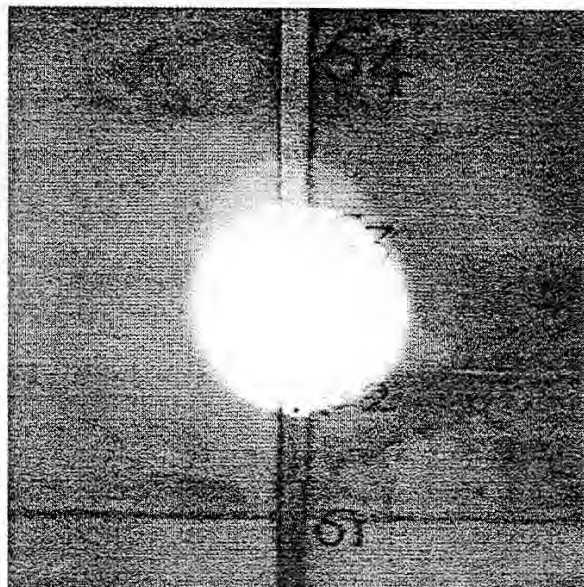


Fig. 7

Ringrazio vivamente il Parroco di questa illustre Basilica, don Renzo Giuliano, al quale sono dovuti molti riconoscimenti per quanto fa ai fini della conoscenza e valorizzazione della Chiesa. Alla sua comprensione e disponibilità prudente (quest'aggettivo non è una critica, ma un riconoscimento) devo i sopralluoghi e gli esami che mi hanno consentito di individuare i fatti che espongo in questa relazione.

"NOTA - Nel momento di mandare alle stampe gli Atti del Seminario l'Autore della relazione è lieto di comunicare che gli organismi competenti hanno provveduto ad eliminare gli inarcamenti della Linea Meridiana da lui rilevati nell'agosto 2000. I partecipanti al Seminario, al termine della relazione, hanno auspicato all'unanimità, su proposta dell'Autore, che nel 2002 sia celebrato il Tricentenario della Meridiana di Santa Maria Maggiore, con incontri di studio e ricerca, visite guidate e pubblicazioni, al fine di valorizzare sempre più uno dei più importanti strumenti della scienza astronomica del 1700.

OROLOGI SOLARI A DIFFRAZIONE MARIO CATAMO – CESARE LUCARINI

ESTRATTO

Gli autori hanno individuato le relazioni che intercorrono tra il movimento della riga di diffrazione della luce solare prodotta da un Compact Disc convenientemente graduato, orientato ed osservato e tre coordinate astronomiche del sole, azimut, angolo orario e altezza; hanno utilizzato tali relazioni per costruire, senza gnomone e su un supporto del tutto nuovo in gnomonica, diversi tipi di orologi solari.

E' esperienza comune che la superficie di un Compact Disc colpita da una sorgente luminosa presenta zone di luce iridescenti che passano per il centro del dischetto. Se la sorgente luminosa non è molto vicina, la macchia di luce riflessa dal CD diviene una **riga** sottile, disposta radialmente e orientata nella direzione della sorgente. Il fenomeno, in realtà, si verifica su qualsiasi superficie su cui siano praticati solchi concentrici molto sottili e vicini, e il CD sotto questo profilo rappresenta una superficie particolarmente idonea.

Questo comportamento ottico del dischetto è dovuto a fenomeni di diffrazione provocati dal "reticolo circolare di riflessione" costituito dai "solchi" del disco, come è chiarito nella nota riportata al termine della nostra relazione e dovuta all'apporto dell'amico Edmondo Marianeschi.

Osservando con attenzione il fenomeno abbiamo constatato che la **riga "segue" il Sole** (come qualsiasi altra sorgente di luce) secondo leggi complesse. La riga infatti ruota in ogni senso a seconda di due fattori: la posizione nello spazio della superficie riflettente rispetto alla direzione della sorgente luminosa e la posizione dell'occhio dell'osservatore. Ci siamo allora proposti di individuare le **relazioni che intercorrono tra la posizione (e la rotazione) della riga e le coordinate astronomiche del Sole, la sorgente luminosa più naturale e significativa per gli gnomonisti**. La determinazione di queste relazioni e delle leggi che le regolano avrebbe confermato (o smentito) la nostra ipotesi: la riga, legata nella sua rotazione alle coordinate astronomiche del Sole, avrebbe indicato l'ora.

Il primo passo della nostra ricerca è stato la determinazione delle condizioni geometriche in cui la riga luminosa di diffrazione (che per brevità indicheremo in seguito con il termine di "riga") deve essere osservata per poterne studiare il comportamento a fini gnomonici.

Siamo partiti dalla collocazione del disco in alcune giaciture classiche degli orologi solari piani: l'orizzontale, l'equatoriale e la verticale. Il passo decisivo per procedere positivamente nella nostra ricerca è stata la scoperta della condizione di **perpendicolarità dello sguardo rispetto al centro del CD** per "fermare" la riga, permettendole di ruotare soltanto in dipendenza del movimento del sole: per ottenere più facilmente e con maggiore precisione tale posizione ci siamo serviti di uno specchio posto sotto il centro del disco, in modo da ottenere un'immediata autocollimazione. Naturalmente possono essere usati anche altri metodi di autocollimazione.

I risultati hanno confermato pienamente l'ipotesi di partenza e li illustreremo separatamente, seguendo la classificazione gnomonica. Abbiamo dimostrato che è possibile costruire **orologi solari senza gnomone, utilizzando il fenomeno ottico della diffrazione**. Naturalmente non ci nascondiamo talune difficoltà pratiche di costruzione e di utilizzazione, peraltro presenti in tutti gli orologi solari, particolarmente in quelli portatili. Il tempo e l'esperienza suggeriranno gli adattamenti ed i perfezionamenti che potranno rivelarsi utili.

OROLOGI SOLARI A DIFFRAZIONE

- Orologio solare azimutale

Abbiamo tracciato sul dischetto una graduazione periferica di 240° gradi, divisa in due archi di 120° ciascuno; ai fini dell'orientamento abbiamo stabilito di considerare la direzione Sud coincidente con 0°; abbiamo quindi collocato l'oggetto in posizione orizzontale e orientata, cioè con la linea Nord-Sud del disco allineata con il Meridiano locale.

Abbiamo allora constatato che quando l'occhio si colloca perpendicolarmente rispetto al centro del cerchio e ad una distanza di 20 - 30 cm., l'osservatore percepisce chiaramente l'immagine di una riga che forma con la direzione di 0° un angolo uguale all'**Azimut del sole da Sud** nell'istante dell'osservazione. Simmetricamente, data la circolarità della superficie riflettente, la riga forma un angolo uguale con la direzione opposta.

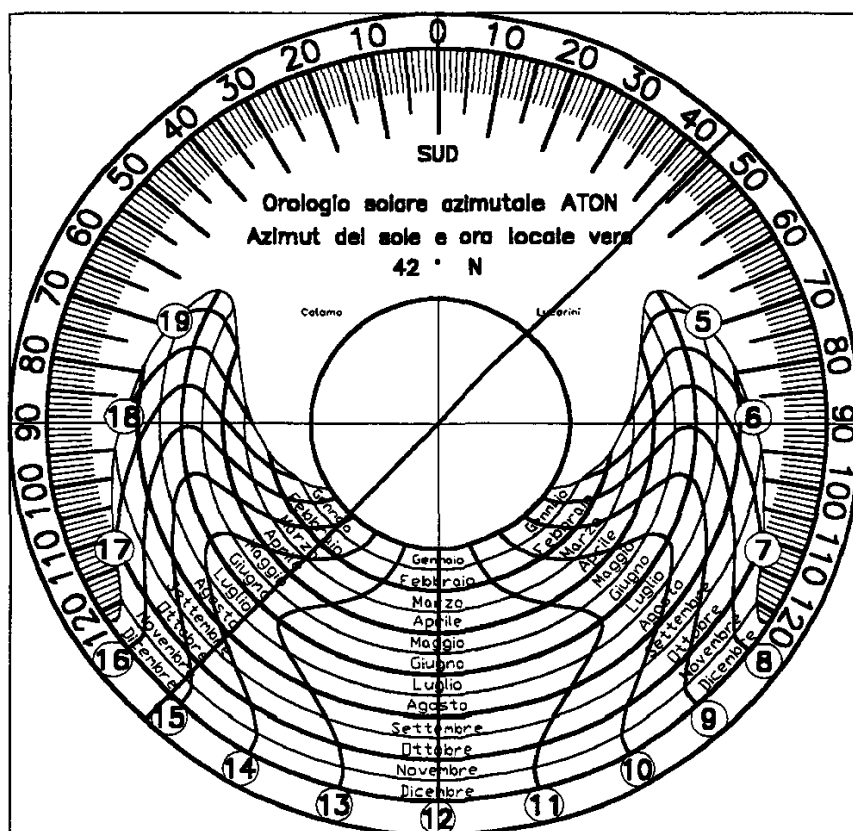


Fig. 1

La riga dunque corrisponde all'intersezione del piano verticale passante per il Sole e per il centro del disco disposto orizzontalmente. L'osservatore, peraltro, continua a percepire la direzione dell'azimut del Sole anche se il suo occhio si sposta, purché rimanga nel piano verticale passante per il Sole e per il centro del disco. Dunque, il disco avente le caratteristiche di un CD, se correttamente graduato, orientato ed osservato, misura l'azimut del sole e conseguentemente funziona esattamente come un orologio solare azimutale orizzontale a stilo verticale fisso, essendo l'azimut graficamente trasformabile nell'ora solare vera del luogo di osservazione. Abbiamo disegnato al computer, con un programma di Computer Aided Design, le linee orarie di un siffatto orologio, con le scale orarie graduate secondo la data. Abbiamo cioè calcolato l'azimut del sole nelle diverse ore del primo giorno di ogni mese e, fissati i punti ottenuti, li abbiamo uniti con una curva continua. Abbiamo stampato il disegno su un foglio di poliestere trasparente che abbiamo ritagliato per applicarlo al dischetto (fig 1). Per il calcolo dell'azimut del sole ci siamo avvalsi della nota formula : $\tan Az = \frac{\sin AO}{\sin \phi \times \cos AO - \cos \phi \times \tan \delta}$, in cui Az = Azimut del Sole, AO = Angolo orario del Sole, ϕ = Latitudine, δ = declinazione del Sole.

Le linee orarie sono calcolate e disegnate per la latitudine di Roma e per l'ora locale vera, ma nulla vieterebbe di eseguire i calcoli e di disegnare le linee orarie per l'ora vera del fuso o addirittura per l'ora media. L'ora è data dal punto in cui la riga interseca la linea oraria in corrispondenza della data di osservazione. La fig. 1 mostra il CD contenente il disegno. La riga è rappresentata dalla linea che attraversa radialmente il dischetto. L'azimut rilevato in un istante del 1° aprile risulta di 44°. Simmetricamente la riga indica l'ora nel quadrante opposto: sono le 14 poiché essa taglia il cerchio corrispondente alla data del 1° aprile nel punto di intersezione della linea oraria delle 14. Data la particolare forma delle linee orarie non bisogna nascondersi alcune difficoltà di lettura, superabili con la pratica. Una soluzione, che agevola notevolmente la lettura dell'ora è quella di disegnare due tracciati, uno per il semestre estivo e l'altro per quello invernale, come si potrà vedere nelle successive figure comprese nel paragrafo "strumento solare multiplo".

E doveroso avvertire che quando la declinazione solare positiva del sole è molto alta, cioè in prossimità del solstizio d'estate, nelle ore vicine al mezzogiorno si possono avere effetti di riflessione che disturbano la lettura e che possono essere eliminati o attutiti con idonei filtri.

- Orologio solare equatoriale

Abbiamo collocato un CD, sempre previa graduazione periferica, sul piano equatoriale, inclinato cioè sull'orizzonte di un angolo pari alla colatitudine del luogo di osservazione. Un tale piano, come è ben noto, è colpito dai raggi solari sulla faccia inferiore quando la declinazione del Sole è negativa, dunque nel semestre invernale; sulla faccia superiore quando la declinazione è positiva, dunque nel semestre estivo.

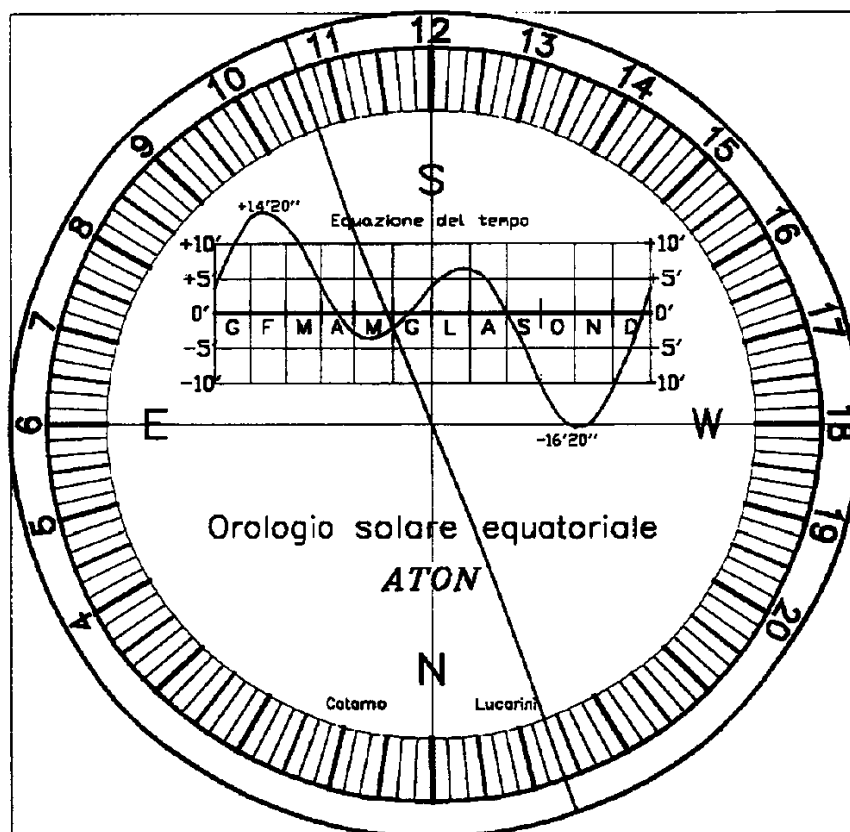


Fig. 2

Abbiamo orientato il disco nel modo descritto in precedenza ed abbiamo constatato che quando l'occhio si colloca perpendicolarmente alla superficie del CD guardando la faccia inferiore nella stagione invernale e quella superiore nella stagione estiva, l'osservatore percepisce chiaramente l'immagine di una riga che forma con la direzione di 0° un angolo pari all'angolo orario del Sole da Sud nell'istante dell'osservazione, immediatamente leggibile in ora grazie all'apposita graduazione. La collimazione è ottenuta come nel caso precedente.

La riga corrisponde all'intersezione del piano orario del Sole passante per il centro del CD con il piano contenente il disco disposto in posizione equatoriale (fig. 2).

L'orologio rappresentato nella figura sta segnando l'ora locale vera delle 10h 40m.

Dunque, un disco avente le caratteristiche di un CD, quando è colpito dalla luce solare funziona esattamente, se correttamente graduato, inclinato, orientato ed osservato, come un orologio solare equatoriale e l'angolo orario che misura è immediatamente trasformabile nell'ora solare vera del luogo di osservazione. Il disegno delle linee

orarie, come per tutti gli orologi equatoriali è particolarmente facile, poiché esse sono costituite dai raggi del cerchio intervallati da angoli di 15° l'uno dall'altro. E inutile dire che come tutti gli orologi equatoriali, il nostro orologio solare è universale; la superficie a forma di disco facilita le rotazioni per la correzione-fuso e per la correzione dell'equazione del tempo, come si potrà meglio vedere nel successivo paragrafo dal titolo "strumento solare multiplo".

Sul piano pratico abbiamo potuto evitare le difficoltà di lettura sulla faccia inferiore utilizzando CD parzialmente trasparenti come sono i dischi vergini su cui non è stata applicata l'etichetta su una delle due facce. Si tratta di un risultato particolarmente rilevante, perché implica la possibilità di leggere l'ora su un orologio solare equatoriale osservando sempre e solo la faccia superiore, sulla quale è visibile, per trasparenza, il raggio che segna l'ora nella stagione a declinazione solare negativa.

- Orologio solare d'altezza

Abbiamo infine collocato il disco, sempre previa graduazione periferica e utilizzazione del consueto specchio per l'autocollimazione, nel piano verticale contenente il Sole. Sempre sotto la condizione che l'occhio sia in posizione perpendicolare rispetto al centro del disco, la posizione della riga vista dall'osservatore indica l'altezza del sole nell'istante dell'osservazione.

Dunque il disco avente le caratteristiche del CD, se opportunamente graduato ed orientato, si comporta come un orologio solare d'altezza, essendo questa graficamente trasformabile nell'ora solare vera del luogo di osservazione. Abbiamo disegnato le linee orarie di un siffatto orologio, con le scale orarie graduate secondo la data e seguendo lo stesso procedimento usato per l'orologio solare azimutale. Abbiamo cioè calcolato l'altezza del sole nelle diverse ore del primo giorno di ogni mese e, fissati i punti ottenuti, li abbiamo uniti con una curva continua. Per il calcolo dell'altezza del sole ci siamo avvalsi delle formula, anche essa ben nota: $\sin h = \sin \delta \times \sin \phi + \cos \delta \times \cos \phi \times \cos AO$. Le linee orarie del disegno qui presentato sono calcolate per la latitudine di Roma e per l'ora locale vera, ma nulla vieterebbe, come già rilevato per l'orologio solare azimutale, di disegnare le linee orarie per l'ora vera del fuso e addirittura per l'ora media. L'ora è data dal punto in cui la riga interseca la linea oraria in corrispondenza della data di osservazione.

E interessante sottolineare che l'orologio di altezza descritto è portatile ed autoorientante. Per leggere l'ora è sufficiente sospendere il CD verticalmente, ruotarlo fino a portare il disco nel piano del Sole e infine guardarlo perpendicolarmente nel centro (fig. 3). Nella figura la riga indica un'altezza del sole di 47° in un istante del 1° giugno; simmetricamente la riga segna l'ora nel quadrante opposto: sono le 9.

E giusto rilevare che questo orologio presenta alcuni inconvenienti comuni agli altri orologi solari appartenenti alla tipologia degli orologi d'altezza. In particolare è critica la lettura dell'ora a cavallo di mezzogiorno, tra le 11 e le 13. Come per l'orologio azimutale le difficoltà di lettura sono accentuate dalla particolare forma che assumono le linee orarie. Anche in questo caso, tuttavia, il disegno di due tracciati, uno per il semestre estivo e l'altro per il semestre invernale, rende la lettura dell'ora molto più facile.

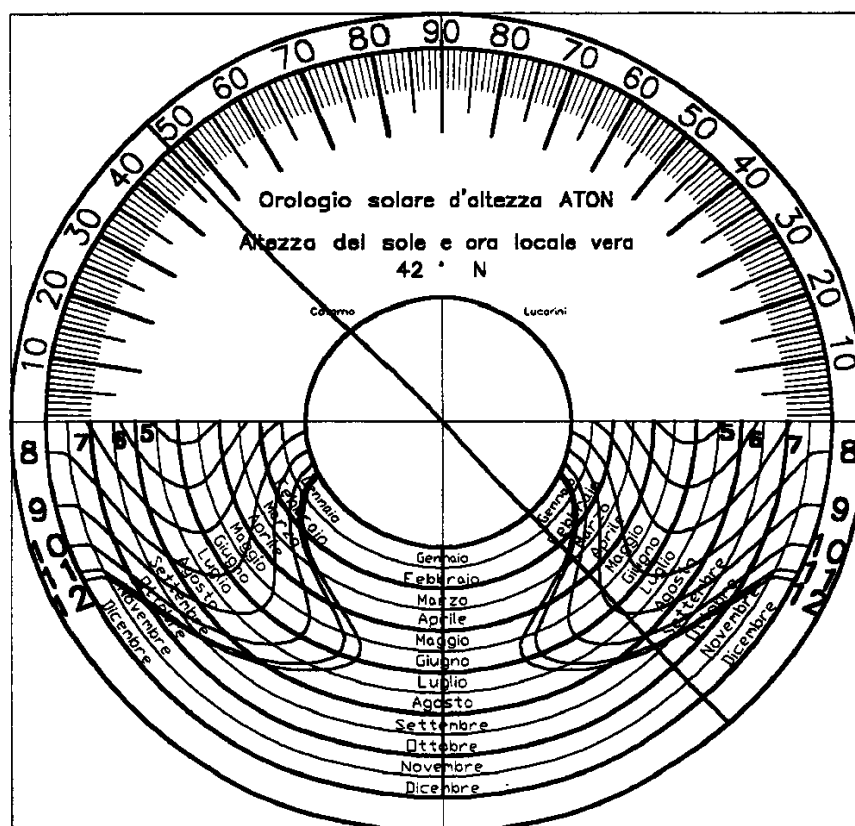


Fig. 3

- Strumento solare multiplo

Un'efficace sintesi delle riuscite esperienze realizzate sino a questo punto è contenuta nelle figure 4 e 5. Esse si riferiscono ad uno strumento solare su Compact Disc in cui un unico apparecchio può fungere da misuratore di azimut, di angolo orario e di altezza del sole e, conseguentemente, da orologio solare delle tre tipologie. Per non appesantire il disegno abbiamo tracciato, ferme restando le tre misurazioni di coordinate, le linee orarie dell'orologio azimutale e di quello equatoriale, tralasciando le linee orarie dell'orologio di altezza. In questo disegno abbiamo adottato, per la misura azimutale dell'ora, il tracciato *semestrale* (figura 4) e non *annuale*. Il tracciato "semestrale" delle linee orarie consente di eliminare il "gomito" estivo, facilitando molto la lettura, anche se comporta l'utilizzazione di due dischi, intercambiabili. Lo strumento (fig.5) è realizzato in ottone, brunito per eliminare i riflessi luminosi che, se presenti, possono creare altre righe di diffrazione che disturbano la lettura. Il disco può ruotare intorno ad un asse orizzontale per assumere l'inclinazione equatoriale corrispondente a qualsivoglia latitudine, con l'ausilio di un quadrante graduato; può altresì ruotare intorno ad un asse perpendicolare al quadro, ai fini della correzione della differenza in longitudine e dell'equazione del tempo.

Riportiamo per brevità, nella figura 4, il tracciato relativo ad un solo semestre, dal quale appare evidente l'assai maggiore facilità di lettura, rispetto al tracciato annuale.

Desideriamo attirare in modo particolare l'attenzione su questo strumento, per la molteplicità di funzioni che svolge e per la sua versatilità: misura tre coordinate astronomiche del sole, ne trasforma in ora due di esse, è universale quando il disco è collocato in posizione equatoriale e consente agevolmente la correzione dell'ora per la differenza in longitudine e per l'equazione del tempo.

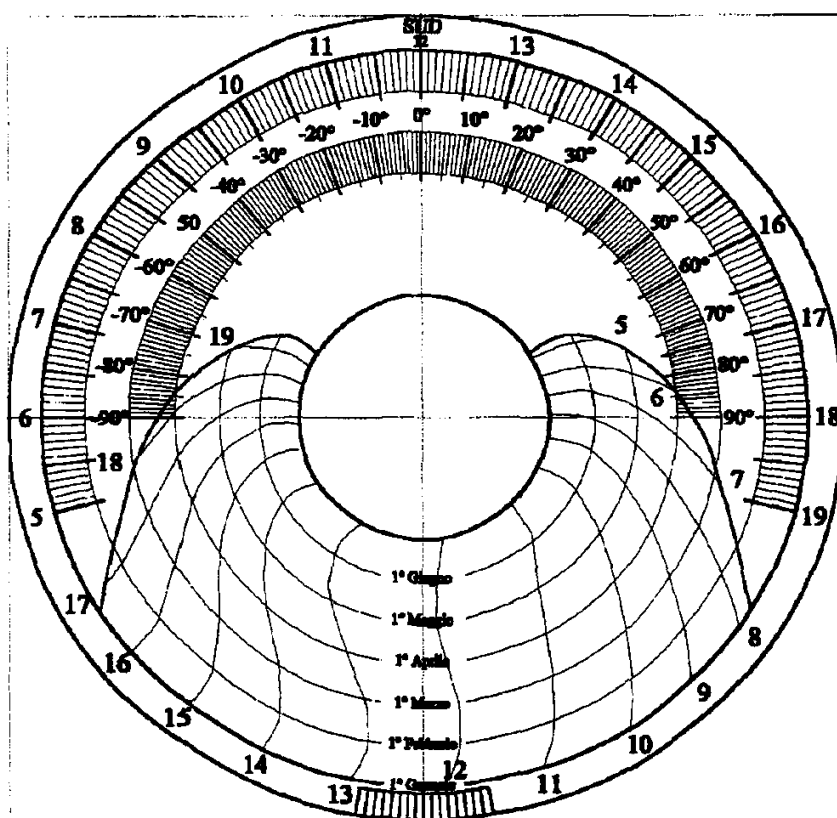


Fig. 4

La pagina successiva contiene la fotografia dello strumento multiplo che è oggetto di descrizione in questo paragrafo.

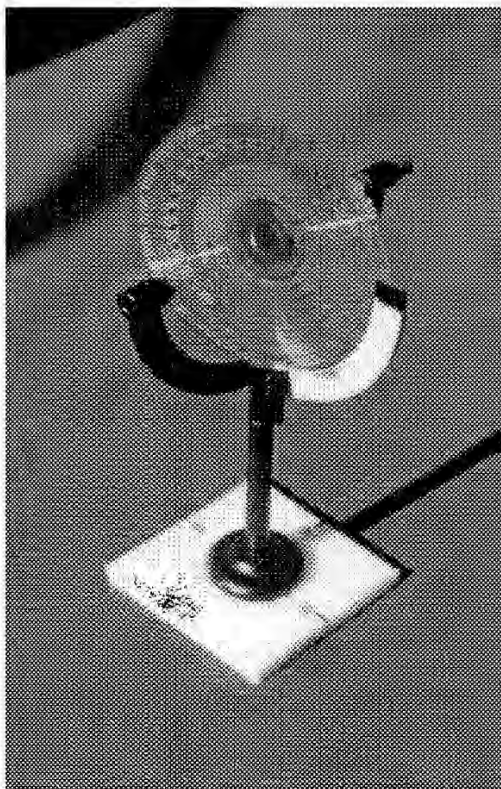


Fig. 5

Durante il Convegno, negli intervalli, lo strumento è a disposizione dei partecipanti per le prove pratiche che essi vorranno eseguire.

- Orologio solare orizzontale di Oughtred

Un suggerimento molto interessante ci è pervenuto da Alessandro Gunella, il quale ci ha proposto di applicare le nostre innovazioni all'orologio solare orizzontale di Oughtred. Abbiamo disegnato quest'orologio proiettando stereograficamente le linee di declinazione e le linee orarie su una superficie circolare ed abbiamo costruito anche l'orologio solare orizzontale di Oughtred senza gnomone (fig. 6). Abbiamo rispettato in questo caso la tradizione, utilizzando la scala delle declinazioni in luogo di quella delle date.

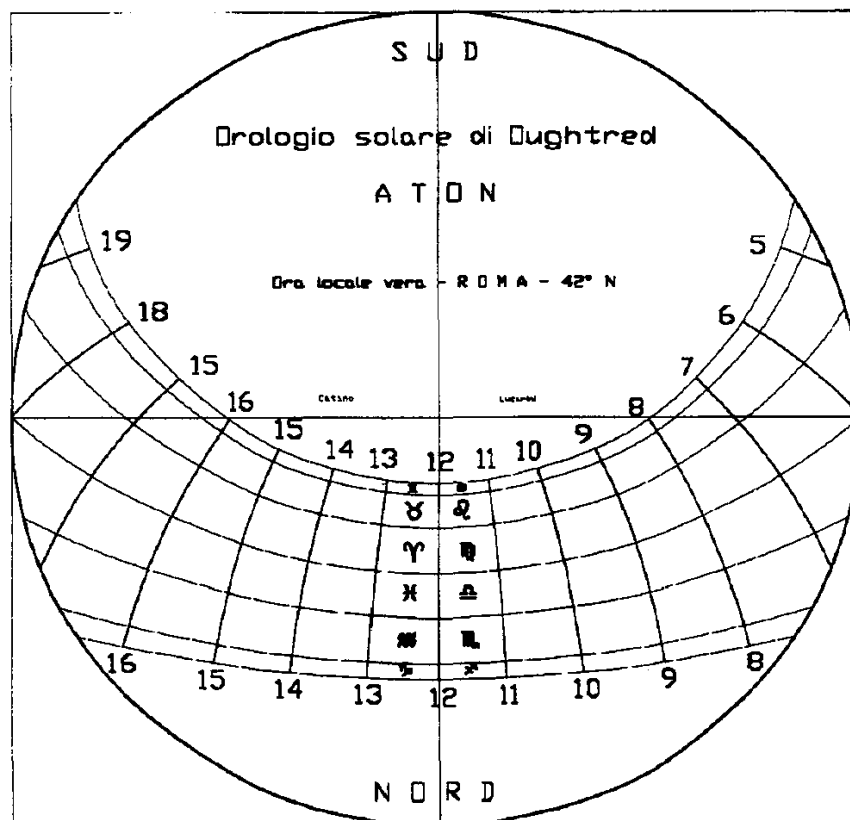


Fig. 6

- Ulteriore potenzialità di applicazione del CD in campo gnomonico

La presente descrizione non esaurisce le potenzialità di applicazione del CD in campo gnomonico. E' possibile, per esempio realizzare orologi solari italici e babilonici; con opportuna costruzione, sulla quale non ci soffermiamo per brevità, il CD in posizione orizzontale consente di misurare la declinazione di un muro. E' possibile ancora, con un'idonea costruzione, realizzare una bussola solare, immune dalle perturbazioni di masse metalliche vicine e della declinazione magnetica.

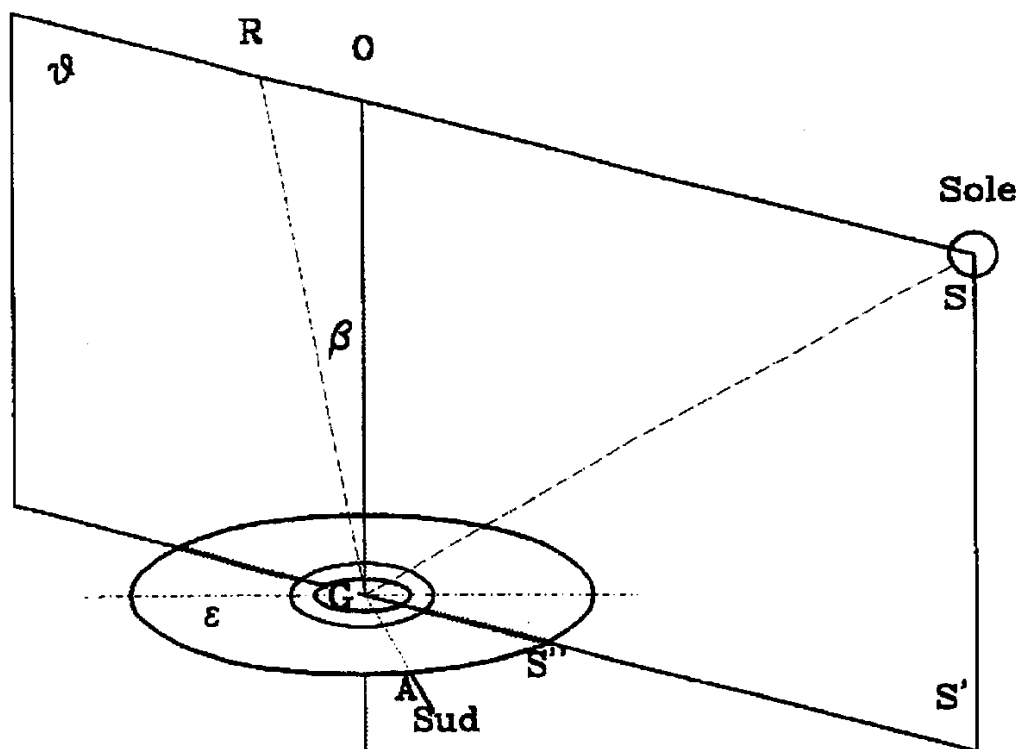
Autorevoli amici gnomonisti ci hanno fornito, nel corso del nostro lavoro, un' utile e gradita collaborazione. Gianni Ferrari è stato prodigo di consigli e di programmi, e ci ha suggerito cammini ancora inesplorati, come quello - per fare solo qualche esempio che dà un'idea del campo di applicazione delle nostre osservazioni - della realizzazione su CD di orologi solari orizzontali ad ore italiane oppure di orologi solari di altezza molto

versatili; Edmondo Marianeschi ci ha cortesemente fornito l'interpretazione del fenomeno della diffrazione sul CD, contenuta nel paragrafo che segue.

Nostri articoli sull'argomento trattato in questo intervento sono stati pubblicati nel N. 3 (Settembre 1999) di "Compendium", rivista della North American Sundial Society e nel N. 5 di "Astronomia" (Settembre-Ottobre 1999), rivista dell'Unione Astrofili Italiani.

La diffrazione nel CD utilizzato come orologio solare
Edmondo Marianeschi

La diffrazione è un complesso fenomeno ottico che si può verificare con tutte le radiazioni che si propagano ondulatoriamente: suoni, vibrazioni meccaniche, moti ondosi in acqua, onde elettromagnetiche, ecc.



- a = spaziatura dei solchi
- ε = piano orizzontale del CD
- GS = raggio solare
- GS' = asse del reticolo elementare radiale, asse dello spettro e proiezione di GS sull'orizzonte
- SGS' = altezza del sole sull'orizzonte = h
- SGO = α = angolo di incidenza = 90 - h
- OGR = β = angolo di diffrazione
- AGS' = azimut dell'asse dello spettro e azimut del sole
- OG = mira dell'occhio in autocollimazione
- q = piano verticale per S e G

Per il 1° ordine $\beta = \arcsin(\lambda/a - \sin \alpha)$ Fig. 7

Nel caso della luce i raggi luminosi, passando in prossimità dei limiti di un oggetto illuminato si inflettono leggermente, e tendono come ad aggirarlo. Quando gli oggetti sono segmenti rettilinei, affiancati, paralleli, ugualmente distanziati dell'ordine di un micrometro (reticolo di diffrazione), si ha dispersione, cioè

decomposizione spettrale del fascio di luce incidente. La scoperta della diffrazione è dovuta al bolognese Padre F. M. Grimaldi (1618 – 1663). Si rimanda ai testi di Ottica Superiore per un'informazione più completa e approfondita.

Vediamo come è fatto un dischetto CD, almeno per gli aspetti che qui ci interessano. La superficie non "etichettata", anche se appartiene ad un CD non registrato, è formata da un solco a spirale piana strettissima, di 33 mm. di ampiezza complessiva, con passo 1.6 micrometri (625 solchi a millimetro), larghezza di ogni solco 0.5 micrometri, profondità 0.1 micrometri. Il supporto è di plastica policarbonato. La superficie solcata è metallizzata con alluminio e, poi, protetta con un leggero, uniforme strato di plastica trasparente. Le dimensioni dei solchi sono idonee perché, sotto l'azione della luce bianca, si abbiano effetti di diffrazione e la superficie solcata funga da reticolo di diffrazione per riflessione.

Sembrerebbe che nel CD manchi una condizione perché si realizzi un reticolo di diffrazione, cioè la rettilineità e il parallelismo degli elementi diffragenti, chiamati poco sopra oggetti o solchi, perché questi appartengono ad una spirale continua e non ad un fascio di parallele. Ma la condizione viene facilmente soddisfatta se si pensa che, in definitiva, gli archetti di spirale utilizzati quando la sorgente luminosa è angolarmente molto piccola, assimilabile ad un dischetto come il disco solare, sono solo quelli disposti lungo un raggio, per una striscia di una frazione di millimetro di larghezza; possono quindi confondersi con le loro corde geometriche e conseguentemente essere considerati tutti uguali, a curvatura nulla e paralleli.

L'angolo di diffrazione β che è funzione delle lunghezze d'onda che caratterizzano la luce incidente – da cui la dispersione – si può calcolare dalla formula riportata in fig. 8. Questa formula vale per lo spettro chiamato del 1° ordine che è praticamente l'unico che viene utilizzato nel nostro orologio solare. Gli altri spettri o risultano fuori campo o si sovrappongono e quindi risultano confusi. Comunque non c'è da preoccuparsi dell'ordine dello spettro perché questo sarà sempre diretto lungo il raggio GS".

Fra tutti i raggi che colpiscono la superficie ϵ del CD quelli e soli che cadono sulla stretta banda diametrale (chiamiamo questa banda reticolo elementare) che ha per asse la proiezione sul piano del CD della congiungente il Sole (S) con il centro G vengono a trovarsi nella condizione richiesta dalla teoria della diffrazione perché si abbia luce dispersa in componenti cromatici, cioè uno spettro di luce bianca: difatti il reticolo elementare di cui sopra può essere considerato come una serie di fenditure tutte parallele tra loro ed equidistanti, oltre ad essere perpendicolari alla direzione di arrivo della luce: i raggi diffratti sono tutti nel piano di incidenza del raggio di luce proveniente da S e quindi lo è anche lo spettro che si distribuisce lungo la direzione della banda diametrale, fungendo da indice azimutale.

Quindi la decomposizione spettrale della luce di S è distribuita lungo il diametro del CD che è proiezione della congiungente SG sull'orizzonte. Da qui la possibilità di misurare l'azimut di S sulla graduazione periferica.

Per vedere agevolmente lo spettro e per garantire le condizioni geometriche di cui sopra, basta che l'occhio dell'osservatore stia sul piano dei raggi diffratti e, quindi, può stare anche, e meglio, su G centro del CD in modo che la mira sia perpendicolare al piano di questo. Questa circostanza può essere garantita mettendo l'occhio in autocollimazione, con l'ausilio di uno specchietto posto al centro del CD e giacente sullo stesso suo piano o avente la stessa giacitura.

Se il CD, dal piano orizzontale finora considerato, viene disposto sul piano equatoriale, salvaguardando i rapporti di perpendicolarità ed orientamento sopra definiti (piano q passante per S, per l'asse del reticolo elementare e per la mira OG normale ad ϵ), la proiezione di S cade sul piano dell'equatore celeste e conseguentemente, rispetto ad una graduazione angolare periferica del dischetto, si può avere la misura dell'angolo orario. Anche in questo caso, lo specchietto al centro del CD permette il raggiungimento dell'autocollimazione e, dunque, garantisce la corretta mira.

ESTRATTO

Dopo una breve introduzione a carattere filosofico sul tempo, la sua misura e il suo inarrestabile scorrere, l'A. illustra cinque diverse tecniche per realizzare una meridiana con preziosi consigli derivanti dalla sua lunga esperienza e precisamente: su lastra di marmo, su piastrelle di maiolica, in tondini di acciaio inox, con pittura a secco e infine su pannelli di Forex.

1 - RIFLESSIONI FILOSOFICHE

Uno dei meriti dell'U.A.I. Sez. Q.S. è stato quello di aver incentivato in questi ultimi 20 anni un interesse notevole per gli orologi solari sotto tutti gli aspetti: storico, artistico, ornamentale, matematico, informatico. Basta sfogliare i voluminosi atti dei nostri Seminari.

Per la verità questo interesse, come è accaduto per tanti altri aspetti storici e culturali, si è risvegliato una volta che la varietà, la diffusione e l'uso dei mezzi di precisione per misurare il tempo hanno raggiunto la saturazione e hanno sorpassato di gran lunga le capacità intellettive e operative di una singola persona. Tutti portiamo un orologio di precisione al polso; le nuove tecnologie di comunicazione via satellitare misurano con gli orologi atomici il decimiliardesimo di secondo; ovunque ti giri trovi orologi digitali che ti indicano l'ora esatta. Negli uffici e nei locali pubblici, chiese e sacrestie comprese, trovi sempre un orologio al quarzo. Questa è la saturazione. Ma il tempo, come la vita, a differenza di tutte le altre cose non è una realtà nostra, che noi possiamo dominare o imbrigliare o conservare o congelare, come si fa con gli embrioni per farli poi ripartire quando si vuole. Né possiamo metterci una diga, come si fa con un fiume, per utilizzare poi l'acqua in momenti di siccità. *Inreparabile tempus* lo definiva Ovidio.

Il tempo scorre e basta: la sua natura è proprio in questo scorrere che ci coinvolge personalmente perché anche la nostra vita scorre e soprattutto acquista un valore morale in quanto c'è modo e modo per farla scorrere. Tutti ricordano la frase di Seneca della prima lettera a Lucilio: *Omnia aliena sunt, tempus tantum nostrum est*. E' nostro in quanto va speso meglio che si può, ma non è affatto nostro in quanto scorre con noi inesorabilmente.

Ma c'è un'altra riflessione da fare, ancor più profonda. Aristotele definisce il tempo come *arithmos kineseos*, che S. Tommaso traduce come *mensura motus* e noi lo rendiamo come *misura di un movimento*. La traduzione italiana non rispecchia però il pensiero aristotelico perché la parola *arithmos* vuol dire *numero*, *quantità* e la parola *kineseos* vuol dire *movimento* nel senso generale di *cambio*. Solo in un senso più ristretto il primo vuol dire *misura* e il secondo *movimento locale*. L'aver optato per la traduzione particolare al posto di quella universale ha originato una gran

confusione tra *misurazione* e *definizione* e questa confusione ce la portiamo dietro da Galileo ad oggi in tutte le scienze fisiche. Nulla da eccepire al tempo considerato come *sommatoria di tutti i cambi*. Così facendo però ne consegue immediatamente che ogni cambio sia autonomo rispetto ad ogni altro. In altre parole ogni cambio definisce e misura solo se stesso.

Questo principio è valido a qualsiasi livello dell'essere. Ecco perché nessun orologio andrà mai d'accordo con alcun altro: confondendo definizione con misurazione, vi è chi pretenda di *misurare* il tempo col movimento di un orologio. Ma un orologio non misura il tempo. Le linee divisorie di un quadrante solare o di una mostra di orologio misurano il movimento dell'ombra o delle lancette, unica cosa che possono fare. Che poi l'orologio sia costruito in maniera tale che 24 rotazioni della lancetta lunga e due di quella corta coincidano con una sola rotazione della terra è un artificio meccanico che non incide minimamente sulla insalvabile indipendenza dei due movimenti. Tanto una patacca di quattro soldi quanto un *cesium-clock* misurano solo se stessi. L'accuratezza della prima è grossolana, del secondo è raffinatissima, ma la misurazione esatta di un movimento con un altro appare una chimera. Non parliamo poi del paradosso einsteiniano dei gemelli: anche se due o tre movimenti meccanici facenti parte dello stesso sistema possono influenzarsi a vicenda, non è affatto detto che debbano influenzare un movimento biologico, meno ancora il viceversa.

A questo punto voi mi domanderete: a che serve e dove vuol parare questo discorso filosofico? La risposta è semplice anche se suona come paradosso: le meridiane non servono a misurare il tempo, ma sono opere dell'arte e della scienza - *opus scientiae et artis* - e anche poesia, tanto per ricordare il titolo del libro di Morchio: *Scienza e poesia delle meridiane*. E proprio perché arte e poesia, ogni meridiana racconta una storia, racconta un'epoca, racconta una fatica, racconta la conquista lenta ma sempre più affascinante della comprensione della meccanica celeste, racconta anche una preoccupazione morale di educare all'uso del tempo. Nessun argomento, come il tempo, registra tante sentenze, tanti motti, tanti proverbi; nessuna cretomania è così ricca come quella relativa al lento ma inesorabile scorrere del tempo.

**X° Seminario Nazionale di Gnomonica
TECNICHE PER REALIZZARE UNA MERIDIANA
CINTIO**

**S. Benedetto del Tronto 6,7,8/10/2000
ALBERTO**

Veniamo dunque alle tecniche più comuni e quindi meno costose per realizzare le meridiane.

2 - LASTRA DI MARMO

Occorre subito precisare che tra i tanti tipi di marmo, occorre evitare quelli che col tempo si incurvano e si deformano per effetto della sineresi e della escursione termo-igrometrica che agisce sulla anisotropia dei cristalli. Tra questi i più sensibili sono quelli a struttura microcristallina, come il marmo di Carrara, che dopo 10 - 15 anni già presenta una leggera curvatura di 0.4% per arrivare anche al 2% dopo un secolo: basta osservare le vecchie lapidi, specialmente nei cimiteri dei paesi di montagna ove l'escursione termo-igrometrica è maggiore. Il più stabile invece è il travertino che gode anche della proprietà di resistere e molto agli agenti atmosferici. Meno adatte, anche se non si incurvano, sono le marme, perché sono soggette a rapida erosione. Lo stesso effetto, ma in misura minore, si riscontra nei graniti soprattutto di tipo gneiss o micascistico.

I marmisti più attrezzati lavorano con computer fornito di scanner per recepire il disegno e di plotter a punta incidente per eseguirlo nella scala voluta sulla lastra di marmo. La fortuna è quella di trovare un esperto artigiano lapicida, ormai raro e purtroppo anche esoso: in questo caso occorre preparare sulla carta il disegno in scala reale o meglio ancora disegnare a matita la meridiana direttamente sulla lastra di marmo. Oltre all'incisione si può eseguire la meridiana direttamente sul marmo con vernice a smalto, purché la superficie non sia lucidata con ossido di piombo. Il disegno tiene a lungo perché ogni marmo ha una certa porosità e permeabilità e il colore diluito penetra un po'.

Lo gnomone va realizzato in acciaio inossidabile per evitare colate indelebili di ruggine limonitica. Per non imbarcarsi in lavori dispendiosi è più che sufficiente un tondino di acciaio inossidabile filettato da fissare con due dadi. La punta può essere sagomata a pallina o ci si può avvitare un pomello di ottone sferico di quelli usati per i cassetti e piccoli sportelli, oppure ci si può saldare una punta di lancia o un disco con foro gnomonico. Se lo gnomone è di tipo assostilo, basta piegarlo a gomito in prossimità del punto radiale delle linee orarie, in modo che la porzione inserita nel marmo sia perpendicolare al piano della lastra.

3 - MATTONELLE DI MAIOLICA

Le mattonelle di maiolica di 15x15 o di altra dimensione, dipinte e poi vetrificate ad alta temperatura, circa 800°, si prestano per fare lavori di alta qualità e di sicuro effetto ornamentale. Non sono molte le meridiane realizzate con questa tecnica, forse per la difficoltà a trovare un bravo artigiano per la ceramica o

forse per la delicata sistemazione sulla parete, in quanto occorre evitare qualsiasi infiltrazione di acqua. A questo proposito posso portare tre esempi di sistemazione delle piastrelle: a) - direttamente sulla parete dopo aver rimosso l'intonaco in modo che il piano delle piastrelle sia a filo con quello della parete. b) - scavare una lastra di travertino dello spessore di una piastrella più il collante, circa un centimetro, lasciando un bordo largo alcuni centimetri. c) - sistemare le piastrelle su una lastra di travertino da circondare poi con una cornice dello stesso materiale.

Lo gnomone, realizzato con lo stesso materiale di cui sopra, non va ancorato sulle piastrelle per evitare la sollecitazione al distacco, ma direttamente sulla parete o sulla lastra di travertino, tenendo conto dello spessore delle piastrelle più il relativo collante. E' necessario anche fare in modo che il punto di inserimento dello gnomone capiti sull'incrocio delle piastrelle o tutt'al più tra due piastrelle in modo da evitare pericolose forature all'interno della piastrella stessa.

Per l'ancoraggio dello gnomone, il metodo più semplice è quello di saldare una rondella in modo che faccia da battente nella parte anteriore della lastra e stringere con un dado nella parte posteriore. L'uso di due dadi, uno avanti e uno dietro, esigerebbe sulla piastrella un foro molto più grande con conseguente pericolo di infiltrazione di acqua.

4 - TONDINI DI ACCIAIO INOX

In giro per l'Italia c'è qualche esemplare in ferro battuto, ma percorrendo la Val d'Ossola, in molte stazioni ferroviarie della linea Domodossola - Locarno si possono ammirare meridiane realizzate con tondini di acciaio inox da 6 mm di diametro, sagomati e saldati in modo da ottenere anche le lemniscate sulle linee orarie. Sono pubblicate nel libro di Mosello - Bonsani.

Prendendo lo spunto da questo ho provato a realizzarne una di notevoli dimensioni (circa 300x400 cm) su un palazzo del '700 a Macerata, a fianco dello Sferisterio, chiamato *Asilo Ricci* ed ora completamente restaurato e utilizzato come struttura di appoggio allo Sferisterio sia come sale per conferenze e prove musicali, sia come ristorazione.

Il lavoro è alquanto semplice perché una volta effettuato il disegno in scala 1:1 su un grande foglio di carta o meglio ancora di compensato, il fabbro non ha che da tagliare i tondini di inox, sagomarli e saldarli in modo da ottenere la classica griglia costituita dalle linee orarie e dalle tre curve di declinazione principali. Può essere arricchita delle curve mensili realizzate con tondini a sezione minore ed anche dei quarti d'ora applicando dei piccoli dischetti lungo le curve di declinazione. Quella realizzata a Palazzo Ricci porta i punti dei quarti d'ora e i 12 segni zodiacali direttamente applicati sul muro.

5 - PITTURA SUL MURO

Certamente classica e duratura è la tecnica dell'affresco, ma sono rari e costosi gli artigiani esperti in questa tecnica. E' facile invece ricorrere ai colori a secco acrilici sia per il fondo che per le linee orarie o semplicemente solo per queste.

Il metodo seguito dall'autore è quello di preparare il disegno in scala reale su un foglio di 70x100 (utili i comuni manifesti da utilizzare sul retro). Se il disegno è più grande occorre dividerlo in quattro parti con due rette perpendicolari e preparare 4 fogli da 70x100.

E' ovvio che prima va fissato lo gnomone alla parete possibilmente in due punti per maggiore stabilità, specialmente per declinazioni molto accentuate. Esistono delle resine epossidiche del tipo Saratoga che induriscono dopo aver mescolato i due componenti in circa 10 minuti e sono, a detta degli esperti, resistentissime. La verifica della giusta posizione dello gnomone, nonché la ricerca del piede dell'ortostilo si può fare con le normali squadre, ma è sempre cosa scomoda e imprecisa. Molto più utile e pratico è il metodo suggerito alcuni anni fa dall'Ing. Flora. Sitraguarda attraverso il foro gnomonico con lo specchio aderente al piano della parete: quando si vede la pupilla al centro del foro è segno che il raggio incidente coincide con quello riflesso e quello è il punto del piede dello gnomone ortostilo.

Dopo questa operazione si applicano al muro - vento permettente - i fogli dei disegni in scala 1:1 con nastro adesivo e poi o con la carta carbone o facendo dei fori con un taglierino sui punti nodali, si riporta il disegno sulla parete. Un tempo, specie per l'affresco, si usava il metodo dello spolvero ossia il cartoncino con tutti fori e un tampone di polvere di carbone. Una volta riportato a matita il disegno sul muro si delimitano i confini delle linee da tracciare con nastro adesivo e si procede poi alla stesura del colore. E' bene che la prima mano sia abbastanza diluita e ben stesa in modo che possa penetrare un po' e poi si passerà a un colore più concentrato. Per le scritte, se la mano non è più che sicura, è bene servirsi dei cartellonisti: possono incidere con un plotter i fogli di plastica adesiva: si tolgono le lettere, si fanno aderire alla parete e si passa poi il colore.

6 - PANNELLI DI FOREX

Un materiale che potrebbe fare da alternativa a quelli elencati fin qui, soprattutto dal punto di vista economico in quanto rientra bene nel settore del *fai da te*, è costituito da fogli di Forex bianchi dello spessore di 1 cm. Sono abbastanza leggeri, facilmente pitturabili a smalto e dal momento che vengono utilizzati per i cartelloni stradali tengono bene le lettere adesive e resistono agli agenti atmosferici senza deformarsi. Per l'applicazione dello gnomone valgono le stesse considerazioni fatte a proposito delle lastre di marmo.

LA MERIDIANA DI GIORGIO

CLARA COVIELLO

ESTRATTO

La Meridiana di Giorgio è un orologio solare che naturalmente si avvicina al moto apparente del Sole sulla volta celeste, poiché il piano del quadrante punta la stella Polare, così, orientandolo con l'inclinazione giusta è un orologio che funziona in qualsiasi luogo della nostra Terra.

Cosa è la Meridiana di Giorgio

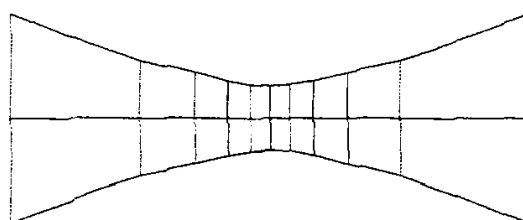


fig 1
Le linee orarie e diurne del quadrante

La Meridiana di Giorgio è un orologio solare con le linee diurne e orarie argentate disegnate su una tavolozza da pittore.

Lo gnomone è un semplice chiodo perpendicolare alla tavolozza, situato nel punto d'intersezione fra la linea diurna dell'equinozio e la linea oraria delle 12.

Queste due linee costituiscono due diversi assi di simmetria del disegno delle linee del quadro.

Come posizionare la Meridiana di Giorgio

Definizione

L'inclinazione i è l'angolo che la verticale del luogo forma con la linea di massima pendenza del quadro v .

Definizione

La declinazione gnomonica d è l'angolo tra la traccia del quadro sull'orizzonte e la direzione Est-Ovest.

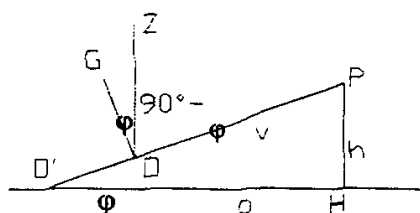


fig 2
Sezione verticale passante per la meridiana

Si dimostra facilmente che l'altezza della stella Polare è uguale alla latitudine del luogo ϕ .

L'orologio solare deve essere posizionata in modo tale che:

- 1) la base di appoggio del quadro deve avere la direzione Est-Ovest: $d=0^\circ$;

2) la verticale di massima pendenza v del quadro punta la stella Polare: $i=90^\circ-\varphi$.

dimostrazione 2): $i=90^\circ-\varphi$.

Le due coppie di rette perpendicolari OG , v (la retta per lo gnomone e quella per la linea di massima pendenza del quadro) e OZ_o (la verticale del luogo e la linea dell'orizzonte Nord-Sud) formano angoli uguali fra loro (c.v.d.).

1) Per trovare la direzione Est-Ovest si può procedere in diversi modi:

si può calcolare mezzogiorno medio locale del giorno in cui si vuole posizionare l'orologio, e all'istante calcolato posizionarlo in modo tale che l'ombra dello gnomone cade sulla linea della meridiana;

con metodi molto semplici si può determinare la direzione che ha l'ombra più corta nell'arco di una giornata, la direzione perpendicolare ad essa da l'Est-Ovest...

2) Se indico con $O'P$ la traccia della verticale sul quadro, con l la lunghezza di tale segmento e con h la lunghezza di PH , calcolando h posso posizionare l'orologio con la giusta inclinazione:

$$h=l \sin \varphi .$$

Esempio 1)

Calcolo del mezzogiorno medio $t_m(g)$ di Napoli.

La distanza fra il meridiano che passa per Napoli ($\lambda_{NA}=14^\circ 15'$) e il meridiano che passa per l'Etna , ossia il meridiano centrale del fuso orario che interessa l'Italia ($\lambda_{Etna}=15^\circ$), è di $45'$.

Poiché il Sole impiega 4 minuti per percorrere un grado, per percorrere $\frac{3}{4}$ di grado impiegherà 3 minuti, indico con $t_{NA}=3m$ tale tempo.

Indico con $\eta(g)$ l'equazione del tempo, e con t , il mezzogiorno vero locale

$$t_m(g) = t + \eta(g) = 12 \text{ ore} + h + t_{NA} + \eta(g)$$

dove h è uguale ad 1 o 0 ore a seconda che l'ora legale è in vigore oppure no.

$$t_m(26/8/2000) = 12 \text{ ore} + 1 \text{ ore} + 3 m + 2 m = 13:05$$

Esempio 2)

Calcolo dell'altezza h della Meridiana di Giorgio per Napoli e Bologna

$$l=45.8 \text{ cm}$$

$$\varphi_{NA}=40^\circ 50' = 40.83^\circ \quad \varphi_{BO}=44^\circ 29' = 44.48^\circ$$

$$h_{NA}=l \sin \varphi_{NA}=29.94 \text{ cm}$$

$$h_{BO}=l \sin \varphi_{BO}=32.09 \text{ cm}$$

Giochiamo a fare il Sole con questa tavolozza

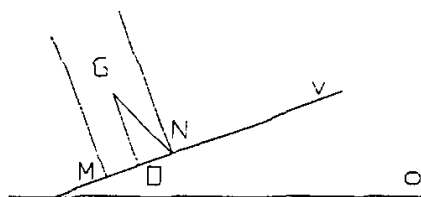


fig 3

Sezione verticale passante per la meridiana

Il Sole ogni giorno gira sopra la Meridiana di Giorgio, da quando sorge a quando tramonta, descrivendo un semicerchio perpendicolare al piano del quadro.

I semicerchi dei vari giorni sono tutti paralleli fra loro e le loro sezioni con il quadro hanno tutte la direzione Est-Ovest.

Tale fatto appare ovvio se si pensa che il Sole “ruota” intorno all’asse terrestre che risulta essere proprio la retta v.

Ossia, se considero la sfera di riferimento delle coordinate equatoriali, il centro di tale sfera coincide con la base dello gnomone, l’equatore celeste è perpendicolare al quadro e contiene lo gnomone.

L’angolo δ , compreso fra lo gnomone e il raggio di luce che sfiora la sua punta, all’istante del mezzogiorno vero, è proprio uguale al modulo della declinazione del Sole.

Indicando con NM gli estremi del segmento della linea oraria delle 12, il piano che contiene il semicerchio del solstizio estivo (la declinazione del Sole è $\delta=23^{\circ}27'$) passa per N, mentre quello del solstizio invernale ($\delta=-23^{\circ}27'$) passa per M e quello degli equinozi passa per O ($\delta=0^{\circ}$).

Al variare del giorno dell’anno varia la distanza fra i piani contenenti i vari semicerchi e il piano che contiene il semicerchio corrispondente ai giorni degli equinozi.

A partire dal solstizio d’inverno, giorno dopo giorno, l’angolo δ diminuisce, fino ad assumere il valore di 0° all’equinozio di primavera.

Dopo di che aumenta fino ad assumere il valore massimo $\delta=23^{\circ}27'$ il giorno del solstizio estivo, e poi nei tre mesi successivi diminuisce, arrivando ad assumere il valore di 0° all’equinozio d’autunno...

Le ombre sulla meridiana della Meridiana di Giorgio

All’istante del mezzogiorno vero, la lunghezza l_g dell’ombra proiettata dallo gnomone sul quadro il giorno g è uguale

$$l_g = m \operatorname{tg} \delta_g$$

dove con δ_g indico il modulo del valore che la declinazione del Sole assume il giorno g, e con m ho indicato la lunghezza dello gnomone OG.

Esempio

Calcolo della lunghezza della linea diurna MN delle 12.

Il modulo della Meridiana di Giorgio, ossia l’unità di misura della lunghezza di tale orologio solare, misura 0.5cm.

$$m = 10 \text{ moduli} = 10 \cdot 0.5 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$$

$$l_{22/12} = m \operatorname{tg} |\delta_{22/12}| = 5 \operatorname{tg} 23.45^{\circ} \text{ cm} = 2.16 \text{ cm}$$

$$MN = 2 l_{22/12} = 4.32 \text{ cm}$$

Esempio

Calcolo della lunghezza dell’ombra dello gnomone del giorno 26/8/2000 sulla meridiana

$$l_{26/8} = m \operatorname{tg} |\delta_{26/8}| = 5 \operatorname{tg} 10.23^{\circ} \text{ cm} = 0.9 \text{ cm}$$

La distanza fra le linee orarie

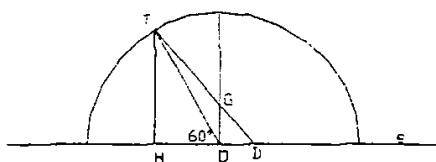


fig 4
Sezione verticale al quadro passante
per la linea degli equinozi

Le linee orarie sono tutte parallele fra loro.

Per calcolare la distanza delle varie linee orarie dalla linea oraria delle 12, considero il semicerchio descritto dal Sole il giorno dell'equinozio.

Divido il semicerchio in 12 spicchi uguali, ogni arco sarà di 15° ($180^\circ:12=15^\circ$)

$$T_{n+1}-T_n=15^\circ \quad n=6,7,\dots,17$$

Prolungo il segmento T_iG fino ad incontrare la retta e (linea diurna dell'equinozio), indico tale punto di intersezione con D_i .

Indico con e_i la misura del segmento OD_i , ossia la distanza della linea i -esima diurna da quella delle 12.

La misura di OD_n , che indico con e_n , è uguale:

$$e_n = m \operatorname{tg}(|12-n|15^\circ) \quad n=6,7,\dots,18$$

Esempio

$$e_{13}=e_{13}=m \operatorname{tg}15^\circ=1.33 \text{ cm}$$

$$e_{10}=e_{14}=m \operatorname{tg}30^\circ=2.89 \text{ cm}$$

$$e_9=e_{15}=m \operatorname{tg}45^\circ=5 \text{ cm}$$

$$e_6=e_{18}=m \operatorname{tg}90^\circ=:$$

Nota

La lunghezza m dello gnomone si può considerare nulla se paragonata alla distanza dalla quale provengono i raggi del Sole.

Per questo motivo posso considerare paralleli i raggi del Sole che colpiscono la base o l'estremità dello gnomone.

Così è stato lecito considerare uguali gli angoli che hanno per vertice il centro del disco solare e un lato che passa per una o l'altra estremità dello gnomone, per esempio ho considerato $HTO=HTG$ (vedi fig 4).

Lunghezza dell'ombra dello gnomone al variare dei giorni e dell'ora

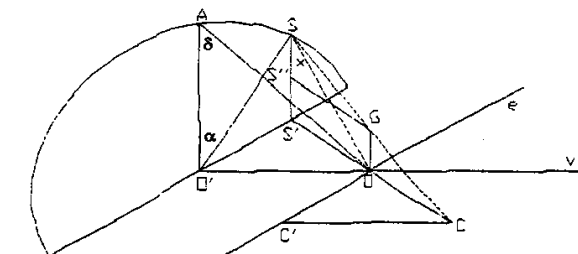


fig 5
Arco che descrive il centro del disco solare S e ombra gnomonica OC

Voglio calcolare la lunghezza dell'ombra dello gnomone, ossia la lunghezza del segmento OC, in un giorno qualsiasi noto il modulo della declinazione del Sole δ , ad una determinata ora n , con $n=7,8,\dots,17$.

Indico con x l'angolo che il raggio del Sole, del giorno con declinazione δ , forma con lo gnomone.

$$x=S'SG=OGC$$

$$\alpha=AO'S$$

$$\alpha=\alpha(n)=|12-n|15^\circ \quad n=7,8,\dots,17$$

$$S'O=S''G=(S'O'^2+O'O'^2)^{1/2}=(r^2\sin^2\alpha+r^2\operatorname{tg}^2\delta)^{1/2}$$

$$SS''=SS'-S''S'=r \cos\alpha-m$$

$$\operatorname{tg} x=S''G/S''S=r (\sin^2\alpha+\operatorname{tg}^2\delta)^{1/2}/(r \cos\alpha-m) \approx (\sin^2\alpha+\operatorname{tg}^2\delta)^{1/2}/\cos\alpha \quad (m/r \approx 0)$$

X° Seminario Nazionale di Gnomonica
LA MERIDIANA DI GIORGIO

$$OC = m \operatorname{tg} x$$

S. Benedetto del Tronto – 6,7,8/10/2000
CLARA COVIELLO

$$C'C = (OC^2 - e_n^2)^{1/2}$$

Esempio

Calcolo della lunghezza della linea oraria delle ore 11.

$$\alpha = 15^\circ$$

$$\delta = 23.45^\circ$$

$$e_{11} = OC' = 1.33 \text{ cm}$$

$$\operatorname{tg} x = (\operatorname{sen}^2 15^\circ + \operatorname{tg}^2 23.45^\circ)^{1/2} / \cos 15^\circ = 0.49$$

$$OC = m \operatorname{tg} x = 0.49 * 5 \text{ cm} = 2.45$$

$$2 CC' = 2(OC^2 - e_{11}^2)^{1/2} = 4.11 \text{ cm}$$

Bibliografia (*frontespizio del libro*)

MANUALI HOEPLI

GNOMONICA

ossia

L'arte di descrivere orologi solari

Lezioni popolari del
P. Biagio M. La Leta S.I.

con 19 figure

ULRICO HOEPLI
MILANO 1897

METODI FISICI PER L'ANALISI E LA DATAZIONE DI QUADRANTI SOLARI FISSI
SERGIO D'AMICO
ESTRATTO

Nella presente comunicazione sono esaminate tre metodologie (Fluorescenza a raggi X, Riflettografia infrarossa ed ultravioletta, Termografia infrarossa) comunemente utilizzate in archeometria per analizzare e datare opere d'arte e reperti archeologici, e sono discusse le possibili applicazioni di queste metodiche allo studio che precede il restauro ed il ripristino di antichi orologi solari fissi.

1 - INTRODUZIONE

E' del 1959 il saggio di C. P. Snow sulle "due culture": la cultura scientifico - tecnologica opposta alla cultura umanistica. Ma questo saggio, che pure prende atto di una divisione che si è prodotta dall'Ottocento in poi, pone le basi per un dibattito teso al superamento degli angusti confini che la specializzazione ha imposto all'unitarietà del Sapere, così come si manifestava nella laboriosa attività delle botteghe artigiane prima della Rivoluzione Industriale. In quelle botteghe, arte e tecnica, scienza e manualità si fondevano e si compenetravano nel risultato finale: dalla creazione alla produzione. Dunque, è verso il superamento di questa contrapposizione che deve muoversi l'attività culturale, affinché dall'armonizzazione di conoscenze diverse, e spesso contrastanti, si determini quella ricomposizione delle "due culture" da tutti auspicata. Quanto detto sopra risulta essere particolarmente vero nel caso della gnomonica; infatti, nei secoli passati, essa è stata arte e scienza al tempo stesso, e lo è tuttora. Essa è arte, non solo per le magnifiche rappresentazioni ed ornamenti che spesso decorano i quadranti solari; ma anche, e soprattutto, perché le tecniche che permettevano la realizzazione delle meridiane venivano apprese dagli allievi lavorando a fianco del maestro, mentre questo era "all'opera". Ma essa è anche scienza, dato che, per esercitarla, sono necessarie approfondite conoscenze di astronomia, algebra e trigonometria. Alla luce di tutto ciò, appare di fondamentale importanza la necessità di applicare le moderne metodologie di rivelazione ed analisi allo studio dei quadranti solari, in vista di un loro successivo restauro. L'archeometria, ovvero la scienza che studia, attraverso i metodi e le tecnologie della fisica e della chimica le opere d'arte, rappresenta, in questo contesto, un naturale punto di incontro tra le "due culture", in quanto propone e realizza una costante collaborazione fra scienziati, archeologi e storici dell'arte per lo studio, il restauro e la protezione del patrimonio artistico. Pertanto, è bene che lo gnomonista conosca, anche solo superficialmente, alcune tecniche di archeometria ed i principi fisici che ne sono alla base.

2 - CARATTERISTICHE BASILARI DELLE TECNICHE ARCHEOMETRICHE

Per poter essere applicata alla rivelazione, alla datazione ed all'analisi di una meridiana fissa, sia orizzontale che verticale, una tecnica archeometrica deve soddisfare i seguenti requisiti:

- **Non distruttività:** significa che l'interazione fra lo strumento di misura e l'oggetto da misurare non provoca la distruzione di quest'ultimo. Questo requisito è fondamentale. Infatti, poiché lo studio archeometrico di una meridiana antica è finalizzato al recupero della stessa, non avrebbe senso distruggere, anche se in piccola parte, ciò che si vuole ripristinare.
- **Portatilità:** è necessaria, dato che si stanno considerando installazioni fisse. Esistono tecniche molto raffinate e sensibili, ma richiedono strumentazioni ingombranti; adatte, al più, allo studio dei quadranti portatili.
- **Sicurezza:** con questo termine si intende dire che la tecnica in questione non deve provocare danni a persone o cose. Per fare un esempio pratico, si consideri il metodo di attivazione neutronica, molto usato in archeometria. Esso consiste nel rendere radioattivi alcuni atomi presenti in un reperto bombardandoli con neutroni. Misurando la radioattività così prodotta, e sapendo quali tipi di atomi danno origine ad elementi radioattivi in seguito ad irraggiamento neutronico, si risale alla composizione chimica del reperto in esame. Questo metodo va benissimo in laboratorio. Ma se si desiderasse utilizzarlo per studiare un quadrante dipinto sulla parete di un edificio, adibito ad ufficio o abitazione, bisognerebbe evacuare il palazzo per tutto il tempo in cui gli atomi radioattivi potrebbero rappresentare un pericolo per chiunque vi stazionasse all'interno. Per lo stesso motivo, sarebbe necessario proibire il transito nell'area esterna adiacente la parete che ospita il quadrante. Questa soluzione non è affatto pratica, dato che la radioattività indotta artificialmente si esaurisce completamente nell'arco di settimane o mesi.
- **Facile disponibilità:** le apparecchiature necessarie devono essere facilmente reperibili nella zona in cui è ubicata la meridiana. Non sempre ciò è possibile, poiché queste attrezzature sono solitamente in dotazione ad università e centri di ricerca.
- **Basso costo:** purtroppo, è un requisito pressoché mai soddisfatto. Si tratta, in genere, di strumentazioni molto costose, al di fuori delle possibilità di un singolo astrofilo o di un'associazione. Inoltre, la loro complessità d'uso richiede quasi sempre la presenza di un tecnico esperto.

3 - METODI ESAMINATI

Fra le tecniche di archeometria che rispondono ai suddetti requisiti, ne verranno esaminate in dettaglio tre:

- **Fluorescenza a raggi X;**
- **Riflettografia (IR, UV);**
- **Termografia infrarossa.**

4 - FLUORESCENZA A RAGGI X

La fluorescenza a raggi X (che, di seguito, per brevità, verrà indicata con la sigla XRF, acronimo dall'inglese X - Rays Fluorescence) si basa sul seguente principio fisico. Si supponga di irradiare un atomo con un fascio di raggi X. Se questi sono dotati di un'energia opportuna, essi sono in grado di strappare uno degli elettroni più interni dalla propria orbita, ionizzando così l'atomo (fig. 1 a). Il posto lasciato vuoto da questo elettrone viene quasi immediatamente occupato da un altro elettrone, proveniente da un'orbita più esterna. Tuttavia, poiché le energie di legame di elettroni che si trovano a diverse distanze dal nucleo sono differenti, si avrà l'emissione di un quanto di energia pari alla differenza delle energie possedute dai due suddetti elettroni (fig. 1 b)). Poiché queste differenze di energia variano da una specie atomica all'altra, è evidente come, misurando le energie dei fotoni emessi da un corpo, in seguito all'irraggiamento con raggi X, si possa risalire alla composizione chimica del corpo stesso. In fig. 2 sono schematizzate le componenti principali di un apparato di misura per XRF. La sorgente può essere un normale tubo a raggi X del tipo usato in radiologia, oppure un radioisotopo che emette raggi X di energia adeguata. Il rivelatore è composto da un cristallo di materiale semiconduttore, il quale è mantenuto a bassa temperatura tenendolo immerso in un recipiente contenente azoto liquido, oppure, per mezzo di una piastrina ad effetto Peltier. I fotoni che colpiscono il rivelatore sono trasformati in altrettanti impulsi di corrente elettrica, aventi ampiezza proporzionale all'energia dei fotoni incidenti. Questi impulsi, opportunamente amplificati, sono poi trasformati in segnali digitali, che sono analizzati, in seguito, per mezzo di un analizzatore multicanale. Questo apparecchio classifica i fotoni rivelati in funzione della loro energia, e mostra il risultato di questa analisi su un monitor (fig. 3). E' evidente la presenza di alcuni picchi discreti su un fondo continuo: ciascun picco rappresenta una riga di emissione X, la cui energia è pari alla differenza delle energie relative a due orbite elettroniche. L'area sottesa da ciascun picco è proporzionale alla quantità di elemento chimico corrispondente, presente nel campione esaminato. Pertanto, l'applicazione di questa tecnica risulta utile nei seguenti quattro casi:

- analisi chimica dei materiali utilizzati per realizzare una meridiana;
- datazione, seppure approssimativa, di un quadrante solare e rivelazione di eventuali restauri o modifiche operate in passato. Questo è possibile, in quanto i materiali, soprattutto pittorici, cambiano generalmente in composizione attraverso le epoche (Tab. 1);
- scoperta di eventuali falsi. Per quanto detto al punto precedente, non è possibile, ad es., che un quadrante affrescato, attribuito al XVI secolo, sia stato eseguito con gli acrilici;
- strategie di restauro. E' necessario che i materiali che compongono una meridiana non subiscano reazioni chimico - fisiche in seguito ad operazioni di restauro non corrette. Infatti, tali reazioni possono danneggiare ulteriormente, e spesso irrimediabilmente, un qualsiasi manufatto.

Si noti che la tecnica XRF permette l'analisi di materiali il cui spessore è limitato a pochi μm . Ciò perché, in spessori più grossi, sia i raggi X incidenti che i fotoni emessi dagli atomi sono assorbiti dal materiale stesso.

5 - RIFLETTOGRAFIA

I campi di utilizzo della tecnica XRF, visti sopra, sono gli stessi ai quali si presta la riflettografia, sia in infrarosso che in ultravioletto. Naturalmente, il modo in cui si estraggono le informazioni è differente rispetto a quello esaminato prima, in quanto si parte da un principio fisico totalmente diverso, che è quello del differente grado di riflettività che i materiali mostrano nei confronti della radiazione incidente, infrarossa o ultravioletta (fig. 4).

5.1 - PRINCIPI FISICI DELLA RIFLETTOGRAFIA

Si consideri un fascio di radiazione incidente di intensità I , ed uno di radiazione retrodiffusa (cioè riflessa lungo la stessa direzione di incidenza) di intensità J (fig. 5).

Si consideri uno strato di pittura di spessore infinitesimo dx , nell'attraversare quest'ultimo, la radiazione incidente e quella retrodiffusa subiscono un'attenuazione, rispettivamente, pari a:

$$dI = [SJ - (S + K)I] dx \quad e$$
$$dJ = [SI - (S + K)J] dx$$

dove:

S = coefficiente di assorbimento
 K = coefficiente di diffusione

S e K dipendono sia dal materiale attraversato che dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente. Essi indicano,

in pratica, quanta radiazione incidente viene assorbita dal materiale, e quanta radiazione riflessa viene diffusa da quest'ultimo, in direzione diversa da quella di incidenza. E' evidente che per spessori troppo elevati non si nota alcuna riflessione. Si definisce, allora, spessore di oscuramento (X_d) lo spessore a partire dal quale non si ha radiazione riflessa in uscita. Anche X_d è funzione della lunghezza d'onda.

Una volta noti questi dati, è possibile definire, per un dato spessore X di materiale, la riflettanza $R(X)$ come:

$$R(X) = \frac{J(X)}{I(X)}$$

dove $I(X)$ e $J(X)$ sono valori misurati.

In definitiva, per qualunque spessore, $R(X)$ è espressa dalla formula:

$$R(X) = f(R(X_0), K, S, X_d)$$

dove $R(X_0)$ è la riflettanza in corrispondenza di un dato spessore di riferimento X_0 .

5. 2 - METODOLOGIE E STRUMENTI DELLA RIFLETTOGRAFIA INFRAROSSA

Le pellicole fotografiche, a differenza dell'occhio umano, sono in grado di registrare lunghezze d'onda comprese fra i $0.25 \mu\text{m}$ e $1.3 \mu\text{m}$. In particolare, per quanto riguarda la fotografia nella regione infrarossa dello spettro elettromagnetico, le emulsioni comunemente utilizzate hanno una sensibilità $\leq 0.9 \mu\text{m}$. Come già detto, a queste lunghezze d'onda, la radiazione è in grado di penetrare attraverso sottili strati di materiale e mostrare ciò che una normale lastra fotografica non riuscirebbe a registrare. Per far ciò, naturalmente, è necessario illuminare la meridiana in studio con una sorgente di raggi infrarossi, e registrarne la componente riflessa. Fortunatamente, la maggior parte delle sorgenti di illuminazione emette una quantità di infrarosso sufficiente ad impressionare la pellicola. Ovviamente, in fase di registrazione, la radiazione riflessa dovrà essere filtrata, onde sopprimere la componente visibile. La fig. 6 mostra schematicamente un apparato per la fotografia nell'infrarosso. Accanto alle tradizionali tecniche fotografiche, una nuova tecnica elettronica, la riflettografia IR computerizzata, ha trovato, recentemente, ampia utilizzazione, soprattutto nell'analisi dei dipinti, in quanto consente di portare alla luce i disegni preparatori antecedenti il dipinto. Questa tecnica, così come la fotografia in infrarosso, si basa sul fatto che alcuni pigmenti sono, del tutto o in parte, trasparenti alle radiazioni infrarosse. Dalla Tab. 2, si evince che, ad esempio, figure sottostanti a colori, quali il bianco di titanio, giallo di Napoli, biacca o bianco di zinco, sono facilmente osservabili mediante la riflettografia, in quanto trasparenti all'infrarosso. Un sistema per riflettografia computerizzata è schematizzato in fig. 7. La telecamera, sensibile ad un ampio spettro di radiazioni, è dotata di

opportuni filtri, invia l'immagine ad un sistema di controllo, che, a sua volta, fornisce l'immagine digitalizzata ad un computer, il quale elabora e mostra, eventualmente in falsi colori, i particolari oggetto dell'indagine.

5. 3 - RIFLETTOGRAFIA ULTRAVIOLETTA

Anche le radiazioni ultraviolette, come quelle infrarosse, non sono percepite dall'essere umano; tuttavia, esse possono fornire informazioni di grande importanza, specialmente nel restauro di opere pittoriche. Se non si fa uso di obiettivi al quarzo, le emulsioni fotografiche sono perfettamente in grado di registrare radiazioni UV fino a $32 \mu\text{m}$ (limite di trasmissione delle ottiche in vetro). In linea di principio, un apparato per la realizzazione di foto nell'ultravioletto è costituito come in fig. 8. Le sorgenti di radiazioni più usate sono le luci di Wood. Solitamente, queste lampade emettono non soltanto radiazioni UV, ma anche radiazione visibile, per cui è necessario anteporre ad esse un adeguato filtro, in grado di assorbire la radiazione visibile e di lasciar passare solo l'ultravioletto riflesso dalla meridiana in studio. Spesso, la radiazione ultravioletta viene non solo riflessa dalla superficie, ma dà luogo a fenomeni di fluorescenza ed emissioni di radiazioni nella regione del visibile. Poiché tali emissioni costituiscono una fonte di disturbo, è necessario porre un ulteriore filtro dinanzi all'obiettivo fotografico.

6 - TERMOGRAFIA INFRAROSSA

Con il termine termografia infrarossa si intende l'insieme di tecniche che utilizzano le radiazioni infrarosse emesse da un oggetto per determinare la distribuzione di temperatura sulla sua superficie.

6. 1 - PRINCIPI FISICI DELLA TERMOGRAFIA INFRAROSSA

Nel trattare la riflettografia IR, si è considerata la regione dell'infrarosso più vicina a quella del visibile (vicino infrarosso). Tuttavia, è possibile ottenere immagini anche nella banda compresa fra i 2 ed i $15 \mu\text{m}$, che è detta del lontano infrarosso. In questa banda spettrale sono contenute le onde termiche; quindi, effettuare l'analisi di un oggetto in questa banda equivale a realizzare una mappa delle sue caratteristiche termiche, cioè delle onde termiche emesse dall'oggetto in studio. Una mappa termografica, realizzata con le dovute attenzioni, può permettere di rilevare differenze di temperatura fra una zona e l'altra; previa misurazione della temperatura con termocoppie o termoresistenze in uno o più punti della superficie, è poi possibile risalire ai valori effettivi della temperatura in tutte le zone termografate.

6. 2 - APPARATO SPERIMENTALE

Un apparecchio termografico è schematicamente costituito (fig. 9) da un sistema ottico di focalizzazione, che riceve le radiazioni emesse da una porzione ben definita della superficie del quadrante in esame, e le focalizza su un rivelatore di radiazione (sensore termografico),

provvedendo ad esplorare, mediante opportuni meccanismi di scansione, la detta superficie. Dal sensore si ottiene un segnale elettrico proporzionale all'intensità della radiazione uscente dalla zona esplorata. Così, è possibile ottenere, con un monitor, un'immagine dell'oggetto stesso, in relazione all'intensità della radiazione uscente. Questa immagine può essere convertita in un'immagine fotografica in bianco e nero, o in un'immagine a falsi colori, convenzionalmente associati a diverse bande di intensità della radiazione. Oppure, nei sistemi più moderni, l'immagine può essere digitalizzata e convenientemente analizzata per mezzo di un elaboratore elettronico.

6.3 - APPLICAZIONI

Da quanto sopra illustrato, risulta che l'analisi termografica di una superficie, che è una misurazione diretta della radiazione rilasciata, è anche una misurazione indiretta della distribuzione di temperatura su di essa.

A questo proposito, è opportuno segnalare i vantaggi tipici del metodo, che sono la possibilità di avere, in tempo reale, una mappa completa e continua della distribuzione di temperatura, anche su una superficie estesa e non di facile accesso (come la parete di un edificio); e la non interferenza della strumentazione con l'oggetto sotto indagine. Poiché, in generale, le mappe termiche superficiali sono influenzate dalle sottostanti strutture naturali, l'uso della termografia consente di evidenziare particolari nascosti che né l'apparato visivo, né altre tecniche sarebbero in grado di evidenziare. Ci si riferisce, in particolare, a situazioni di stress termico, distacco di affreschi, presenza di umidità sotto gli intonaci, o altre modifiche strutturali. Si può, quindi, notare come la termografia infrarossa sia un potente mezzo di analisi e di diagnosi in profondità, al contrario dei metodi visti prima; i quali, come già accennato, non sono in grado di andare oltre un semplice strato di intonaco.

CONCLUSIONI

Certamente, quanto finora esposto non permette allo gnomonista medio di cimentarsi, in prima persona, con queste tecniche di analisi. Tuttavia, si spera di aver fornito una panoramica, per quanto possibile chiara, delle principali tecniche di archeometria fisica suscettibili di essere applicate alla gnomonica.

BIBLIOGRAFIA

- Castellano, A., *Introduzione all'archeometria*, Adriatica Editrice Salentina, Lecce, 1992;
- Ludvig, N., *Riflettografia*, in Atti della II Scuola Estiva di Archeometria, Castro Marina (Le), 7 - 13 settembre 1997;
- Pedrocchi, E., *Termografia infrarossa*, in Enciclopedia delle Scienze Fisiche, vol. VI, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma, 1993.

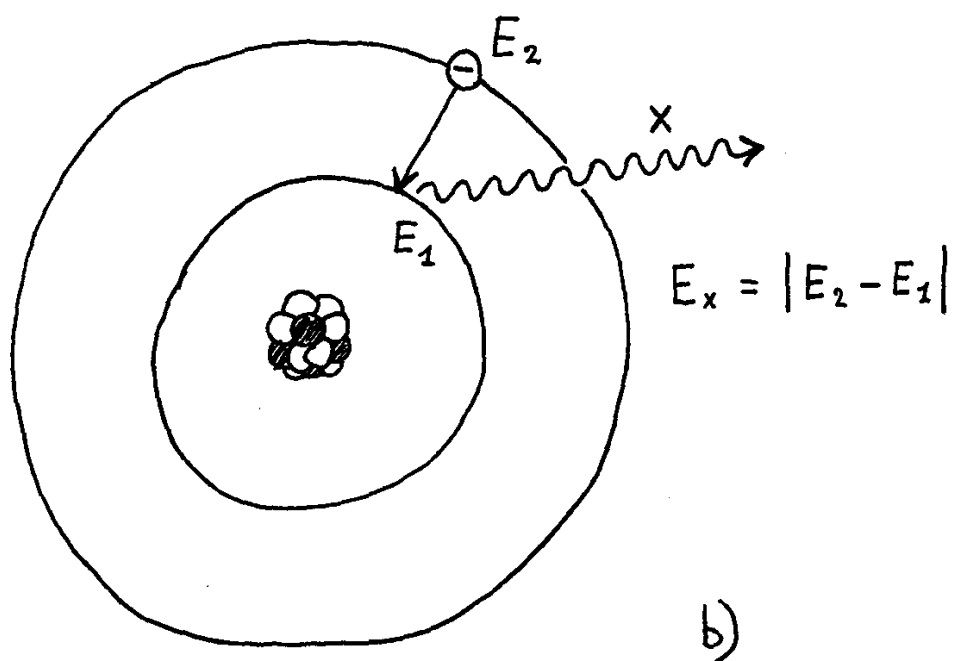
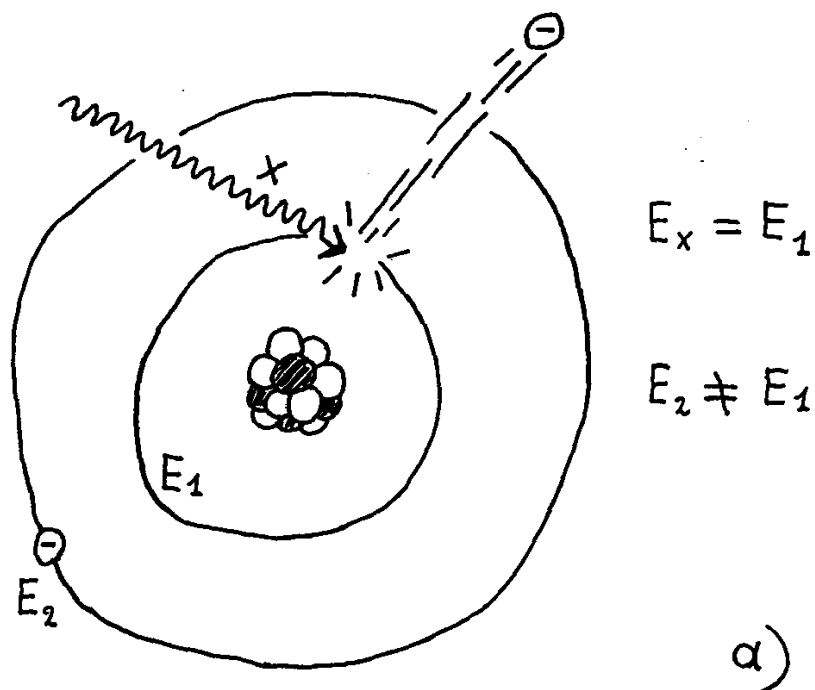


Fig. 1

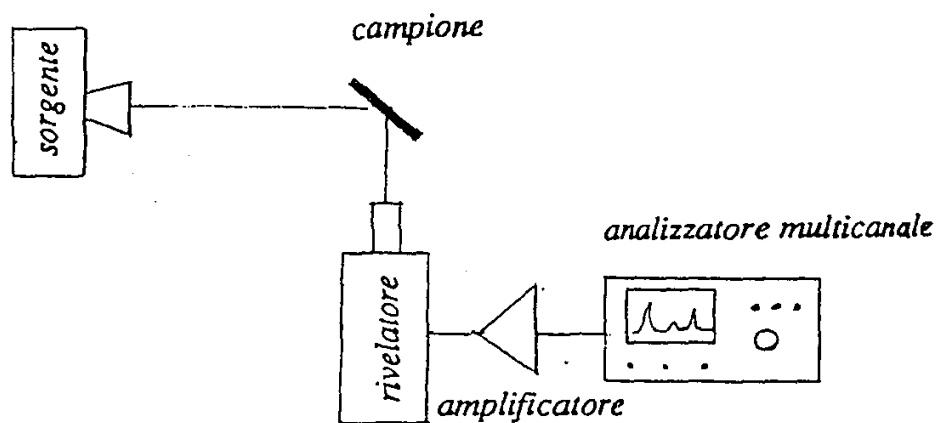


Fig. 2 Schema a blocchi della strumentazione per misure XRF

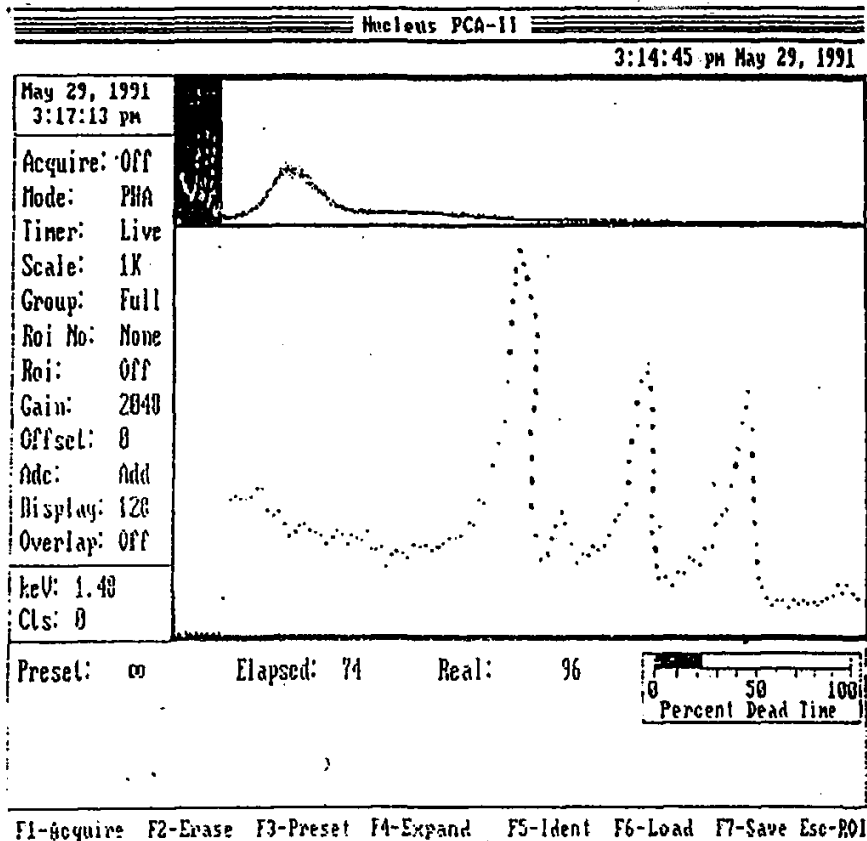


Fig.3 Spettro di un campione contenente rame e piombo ottenuto mediante l'analizzatore multicanale.



Fig. 4

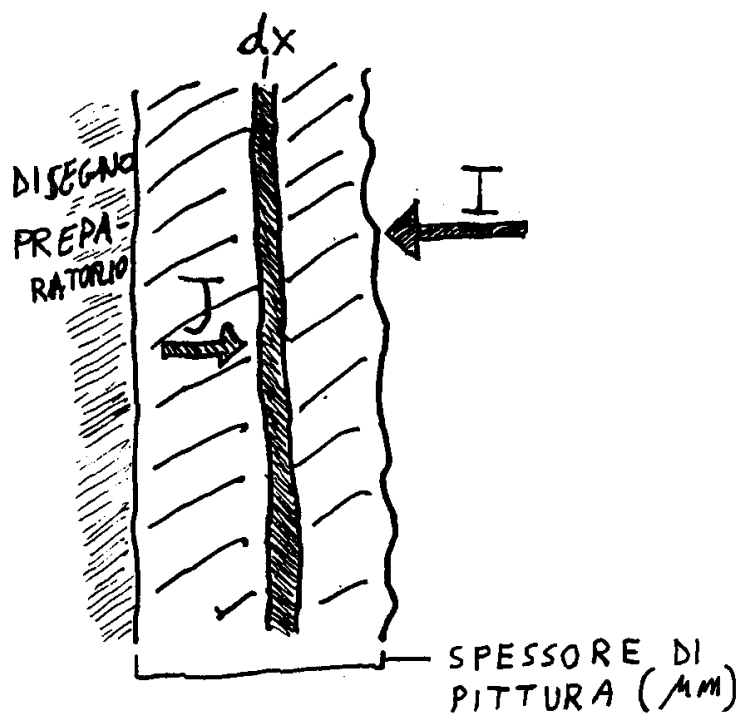


Fig. 5

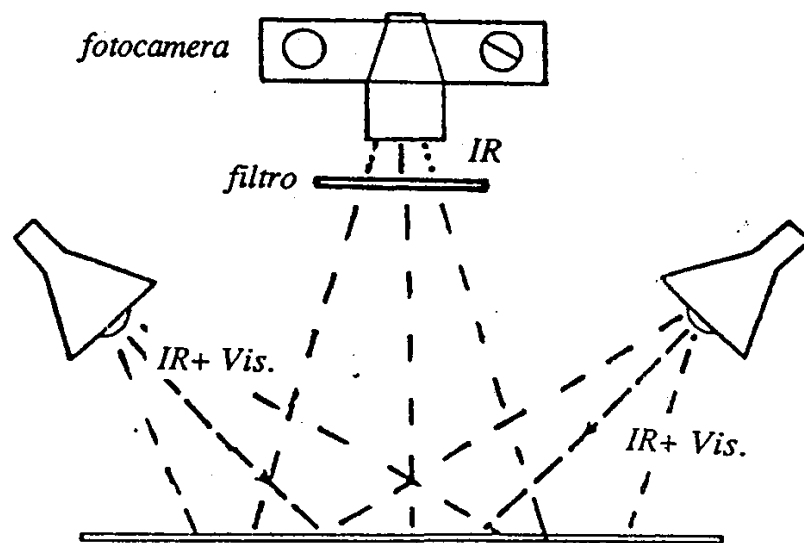


Fig.6 Schema di principio per la realizzazione di foto nella regione dell'infrarosso.

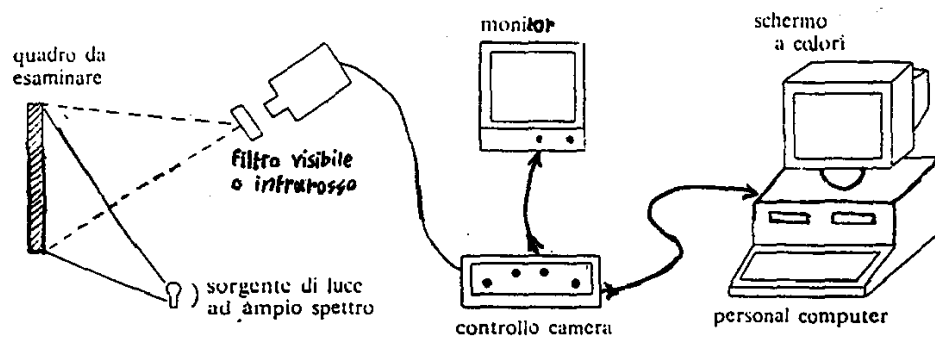


Fig.7 Diagramma schematico del sistema per riflettografia IR computerizzata.

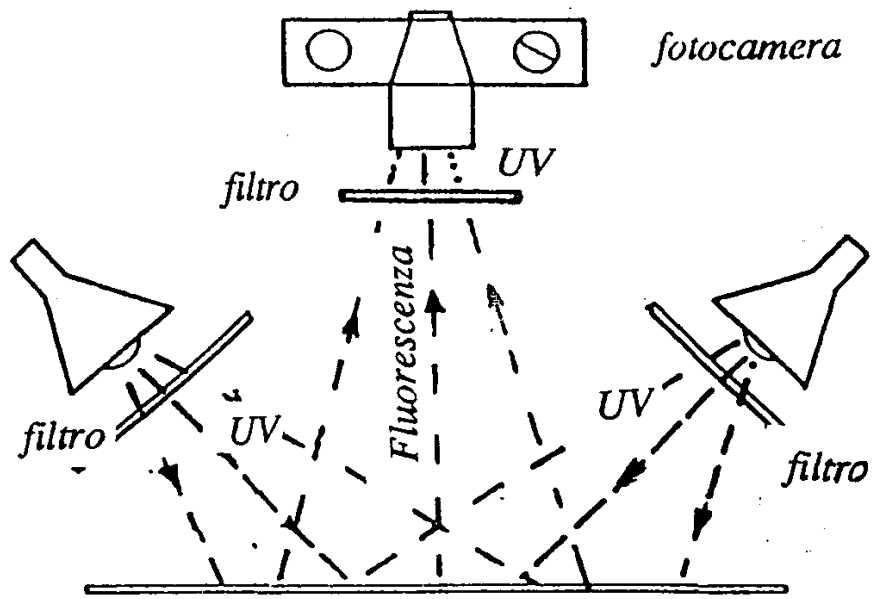


Fig. 8 *Apparato per la realizzazione di foto nella zona dell'ultravioletto*

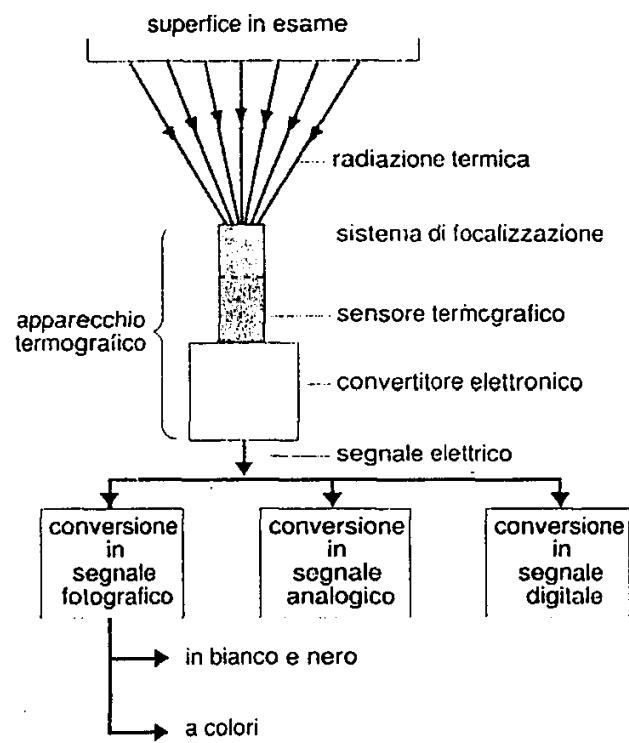


Fig. 9 - Schema di un'apparecchiatura termografica.

COLORE	PIGMENTO	COMPOSIZIONE
<i>BIANCO</i>	Bianco di piombo	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$
	Bianco di zinco	ZnO
	Bianco di calce	CaCO_3
<i>BLU</i>	Oltremare	Silicato di sodio
	Blu di Cobalto	$\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
	Blu di Prussia	$\text{Fe}_4(\text{Fe(CN)}_6)_3$
<i>VERDE</i>	Verde di Scheele	CuHAsO_3
	Verde Cromo	Blu di Prussia + Giallo di cromo
<i>GIALLO</i>	Giallo di cromo	PbCrO_4
	Giallo di cadmio	CdS
	Ocre	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Giallo di Napoli	$\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$
<i>ROSSO</i>	Vermiglione	HgS
	Rosso Veneziano	Fe_2O_3
	Terre rosse	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$
	Minio	Pb_3O_4
<i>MARRONE</i>	Terre bruciate	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$
<i>NERO</i>	Nero d'avorio	carbonio + $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

Tabella 1 Composizione dei principi colori.

Pigmento	%	Pigmento	%
bianco di titanio	0	malachite artificiale	95
bianco di zinco	0	verderame	70
biacca	0	malachite trasparente	95
nero avorio	100	terra verde	95
bitume	60	verde cromo opaco	50
terra di Siena naturale	60	verde smeraldo	30
terra di Siena bruciata	50	verde di cobalto	60
terra d'ombra naturale	95	giallo di Napoli	0
terra d'ombra bruciata	95	orpimento artificiale	25
rosso cromo	30	giallo ocre	45
oltremare naturale	40	giallo cadmio	0
oltremare artificiale	60	giallo cromo	0
azzurrite naturale	85	vermiglione	0
indaco	35	minio	10
blu di Prussia	95	legno del Brasile	15
blu cobalto	55	lacca garanza	15
turchino	90	rosso di cadmio	10
blu verdeterra	85	rosso di Marte	30
violetto (rosso ultramarin)	50	nero di ossido di ferro	100
blu di Sassonia	50	giallo di alizarina	20

Tabella 2. Percentuale di radiazione infrarossa assorbita da alcuni pigmenti.

IL CATALOGO DEI QUADRANTI SOLARI ITALIANI - LO “STATO DI AVANZAMENTO LAVORI” AL 1 OTTOBRE 2000 ENRICO DEL FAVERO

ESTRATTO

Il Consiglio Direttivo UAI nella sua riunione del 18 marzo 2000 ha deciso la pubblicazione della prima edizione del Catalogo nazionale a stampa dei quadranti solari italiani, basato sul Censimento nazionale informatizzato AQS degli stessi, giunto ormai a circa 12 000 quadranti censiti. L'autore descrive lo “stato di avanzamento lavori” del Catalogo la cui preparazione avviene a cura sua e di Claudio Garetti.

NOTIZIE PRELIMINARI

In sede dell'ultimo Seminario di Gnomonica, svoltosi a S. Felice del Benaco (BS) nel marzo 1999, lo scrivente aveva presentato una memoria, contenuta negli Atti dello stesso, dal titolo: “Il Catalogo dei quadranti solari italiani – Situazione e prospettive”. La memoria aveva l'estratto che segue: “Partendo dalla attuale situazione del Censimento nazionale informatizzato dei quadranti solari italiani (AQS) vengono esaminate, anche attraverso le esperienze straniere in materia, le prospettive di una sua traduzione in Catalogo a stampa”. La cosa, per fortuna (e con l'impegno e la collaborazione dei molti interessati a questo progetto) ha avuto un seguito!

Infatti il Consiglio Direttivo (CD) dell'Unione Astrofili Italiani (UAI) nella sua riunione del 18 marzo 2000 ha deciso che UAI sia l'editore della prima edizione del Catalogo a stampa dei quadranti solari italiani, Catalogo che sarà quindi pubblicato, nell'ambito di una previsione di spesa già definita e approvata, a cura della sua Sezione Quadranti Solari (SQS). Gli organi direttivi di UAI hanno poi dato incarico allo scrivente e a Claudio Garetti di curare e coordinare tutti gli aspetti e le azioni necessari alla realizzazione dell'opera. Il progetto editoriale del Catalogo era stato predisposto sin dal settembre del 1999 e sottoposto al parere e al benessere sia della UAI che, mediante circolare di fine 1999, di tutti i coordinatori dell'attuale Censimento informatizzato dei quadranti solari italiani denominato AQS..

La filosofia di base del Catalogo è che esso sia destinato non tanto agli specialisti della materia quanto a chi, non ancora esperto nella stessa, intenda imparare a riconoscere e leggere, più che a realizzare, i vari tipi di orologi solari antichi e recenti, sopra tutto mediante visite e itinerari sul “campo”.

Munito di tale Catalogo, che intendere essere anche una vera e propria “Guida specialistica” di questo particolare tipo di turismo culturale, il lettore dovrebbe essere portato, con il ritrovamento sul posto dei quadranti già censiti e di altri nuovi che riuscisse a scoprire, a contribuire alla diffusione della conoscenza e salvaguardia di un patrimonio storico, scientifico e

artistico di riconosciuto notevolissimo interesse anche per i non “addetti ai lavori”.

In tempi successivi, se lo dovesse desiderare, egli potrebbe anche prendere parte all'ulteriore aggiornamento e sviluppo del Censimento AQS della Sezione Quadranti Solari UAI che continuerebbe a rappresentare la raccolta più completa e in continua evoluzione, anche per i contenuti, dei quadranti solari italiani. Si pensi per esempio al possibile abbinamento alle schede dei dati dei quadranti censiti con la loro immagine, ora realizzato praticamente solo in alcune provincie del Piemonte, ed al loro trasferimento in linea sulla rete di Internet anche in collegamento con analoghe iniziative di altre nazioni europee.

Nel seguito vengono riportate i principali elementi e le impostazioni aggiornate del Catalogo. Per quella più importante, riguardante il contenuto dell'elenco base con le caratteristiche dei quadranti, si è fatta la scelta di non riportare nello stesso tutti i campi desumibili dalle schede informatizzate di AQS, ma solo quelli ritenuti più significativi. Ciò, sopra tutto per ragioni di spazio e quindi per contenere il numero di pagine del Catalogo e quindi il suo costo (direttamente proporzionale, o quasi, a parità di tiratura, a detto numero di pagine) nell'ambito del budget di spesa, ma anche per non evidenziare alcune differenze e comportamenti non uniformi sul numero e sulla qualità dei dati disponibili provenienti dai circa sessanta coordinatori del censimento AQS operanti attualmente in tutte le regioni d'Italia.

CONTENUTI E DIMENSIONI DEL CATALOGO

I contenuti del Catalogo possono essere evidenziati in modo soddisfacente attraverso l'esame del suo Indice che ha ormai una consistenza sufficientemente definita e che viene riportato qui di seguito:

- Titolo del Catalogo: Meridiane d'Italia - Catalogo-guida dei quadranti solari italiani
- Presentazione di: Francesco Azzarita, Responsabile della Sezione Quadranti Solari UAI
- Prefazione
- Capitolo I: (I fondamenti dei quadranti solari) - 1.1 Le coordinate per la misura del tempo - 1.2 Il

- nostro orologio. Un sistema di coordinate polari - 1.3 Le coordinate terrestri e celesti - 1.4 Le coordinate locali - 1.5 I movimenti della terra e del sole - 1.6 L'ora solare e l'ora dell'orologio - 1.7 Un po' di storia: i vari tipi di sistemi orari.
- Capitolo II: (I vari tipi di quadranti solari) - 2.1 Generalità - 2.2 I quadranti a emisfera - 2.3 I quadranti su superfici piane - 2.4 I quadranti equatoriali - 2.5 I quadranti su superfici orizzontali - 2.6 I quadranti su superfici verticali - 2.7 I quadranti di altro tipo - 2.8 Le correzioni e indicazioni accessorie
 - Capitolo III: (I quadranti solari italiani) - 3.1 La situazione attuale e il censimento - 3.2 Il "cacciatore" di meridiani - 3.3 La tutela e la conservazione
 - Capitolo IV: (Il Catalogo) - 4.1 Avvertenze e istruzioni per l'uso - 4.2 Sintesi nazionale - 4.3 Piemonte - 4.4 Valle d'Aosta - 4.5 Lombardia - 4.6 Trentino/Alto Adige - 4.7 Veneto - 4.8 Friuli/Venezia Giulia - 4.9 Liguria - 4.10 Emilia/Romagna - 4.11 Toscana - 4.12 Umbria - 4.13 Marche - 4.14 Lazio - 4.15 Abruzzo - 4.16 Molise - 4.17 Campania - 4.18 Puglia - 4.19 Basilicata - 4.20 Calabria - 4.21 Sicilia - 4.22 Sardegna
 - Appendice: Equazione del tempo/Valori medi - Longitudine e latitudine delle città italiane capoluogo di provincia - Scheda "semplificata" di rilevamento AQS con Istruzioni di compilazione - Coordinatori regionali e provinciali del censimento AQS - Indice dei comuni italiani con almeno un quadrante censito con provincia e regione di appartenenza - Bibliografia.

Esaminiamo ora in dettaglio i contenuti del Capitolo IV, che contiene l'elenco dei quadranti censiti e costituisce il cuore del Catalogo. Nello stesso i quadranti saranno elencati nell'ordine che segue:

- Per regione, da nord a sud secondo l'ordine adottato dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT)
- Per ogni regione, per provincia (in ordine alfabetico della relativa targa automobilistica)
- Per ogni provincia, per comune (in ordine alfabetico della lettera iniziale del nome)
- Per ogni comune, per indirizzo del quadrante (in ordine alfabetico della lettera iniziale dello stesso)

Sempre nell'ambito del IV capitolo, e subito dopo l'indicazione del nome di ciascuna provincia delle varie regioni, saranno indicati nell'ordine: il nome del coordinatore provinciale di AQS della provincia, i nomi di tutti i segnalatori di quadranti della stessa, il numero complessivo dei quadranti censiti. Seguirà poi il vero e proprio elenco con i dati di ciascun quadrante censito (Comune, eventuale valore storico o artistico elevato, numero di rubrica provinciale, indirizzo, ubicazione, stato di conservazione, anno di segnalazione)

Oltre ai contenuti di base sopra illustrati saranno presenti nel Catalogo i seguenti altri elementi:

- Una trentina di disegni al tratto con relative didascalie a corredo dei capitoli I e II
- Circa 130 fotografie tutte a colori con relative didascalie in ragione di una fotografia ogni 90-100 quadranti censiti
- Una cartografia a carattere probabilmente regionale con l'ubicazione di tutti comuni interessati dai quadranti solari. La cartografia in parola potrà tuttavia essere realizzata solo se saranno superati attuali problemi con gli enti dotati di esperienza nel campo specifico e disponibili a collaborare a titolo gratuito o quasi con i curatori del catalogo

Con i contenuti sopra riportati, con una previsione di circa 12000 quadranti censiti, con una dimensione delle pagine di 297x210 mm e con caratteri di stampa tipo Times New Roman di corpo 10, si prevede che il numero complessivo di pagine del Catalogo dovrebbe aggirarsi sulle 280-300 di cui 32 pagine di foto a colori, pagine queste ultime notevolmente più costose di quelle in bianco e nero. Tali contenuti, unitamente ad una tiratura iniziale del Catalogo probabilmente attorno alle 1000 copie, dovrebbero assicurare, secondo prime valutazioni, un sostanziale rispetto del budget di spesa stabilito.

TEMPI DI REALIZZAZIONE E STATO AVANZAMENTO AL 1 OTTOBRE 2000.

Nonostante l'intenzione di UAI di giungere alla stampa del Catalogo sia stata manifestata in più occasioni già nel corso del 1999, il suo avvio definitivo e ufficiale è coinciso in pratica con la data della sua approvazione in Comitato Direttivo che, risale come già detto al 18 marzo 2000. Dopo aver studiato i vari aspetti della stampa del Catalogo e averne predisposto un programma esecutivo, il 12 maggio 2000, mediante lettera circolare, tutti i coordinatori del Censimento AQS sono stati invitati a provvedere ad un ultimo aggiornamento/revisione dei dati del Censimento di loro pertinenza da far pervenire ai curatori del Catalogo entro il 15 giugno e in qualche caso particolare entro il 15 agosto.

E' stato poi deciso dai curatori che, sulla base di detti aggiornamenti/revisioni, venisse predisposto per ogni provincia, mediante apposito programma informatico, un foglio in Excel, denominato FAE, da utilizzare per la formazione di un brogliaccio o bozza dei soli dati di AQS da immettere nel Catalogo e da passare con opportune integrazioni alla tipografia scelta per la stampa del Catalogo, come da accordi intervenuti con la stessa.

Il FAE è un documento sintetico che si propone di mettere in evidenza "a colpo d'occhio" i dati di AQS del Catalogo non ancora corretti, non uniformi e/o mancanti

di tutte le provincie. Su di esso sono presentati anche con apposito simbolo i nomi di Comuni “non ufficiali” secondo la denominazione ISTAT sfuggiti a precedenti rettifiche e risultano anche possibili tutte le correzioni/integrazioni finali dei dati dei quadranti e anche inserimenti di nuovi quadranti non ancora compresi in AQS.

Sulla base del programma sopra descritto, la grande maggioranza degli aggiornamenti finali dei censimenti AQS sono stati predisposti e inviati dai coordinatori ai curatori del Catalogo entro il 15 luglio 2000 e, trasformati in “bozze” di fogli FAE, rispediti ai coordinatori stessi verso la fine del mese di luglio 2000 muniti delle relative “istruzioni per l’uso”.

Il foglio FAE con le correzioni/integrazioni definitive predisposte dai coordinatori che ne è risultato, con data prevista di ritrasmissione ai curatori fissata al 15 /9/2000, costituiva così la bozza definitiva dei dati del Catalogo da mandare alla stampa, da sottoporre unicamente ad una ultima revisione formale da parte dei curatori.

Alla data del 1 ottobre 2000 lo stato di avanzamento del Catalogo risulta il seguente:

1. Testi della presentazione, della prefazione, dei primi tre capitoli e di 4 tabelle dell’Appendice: completati
2. Predisposizione dei FAE definitivi da passare alla tipografia per la stampa: completati per il 100%

delle 101 provincie italiane con quadranti censiti (sulle 103 totali)

3. Raccolta, scelta definitiva, predisposizione in appositi raccoglitori, di 128 foto a stampa o diapositive da allegare al Catalogo e da passare alla tipografia, complete di didascalie di tipo unificato: eseguito per 110 foto pari al 85 % di quelle totali previste.
4. Predisposizione della cartografia delle 20 regioni italiane: presi contatti preliminari con un ente probabilmente disponibile alla formazione dei relativi file sulla base dei dati delle coordinate geografiche dei circa 3000 comuni da riportare sulle carte.
5. Sono in corso contatti con la tipografia per problemi relativi alla trasformazione dei FAE in Exel in testi definitivi di stampa, per la formazione della copertina, per la grafica delle scritte e didascalie dei disegni al tratto.

Nella tabella riportata sotto è indicata la situazione attuale a livello regionale dei 12 346 quadranti censiti che, secondo i dati oggi disponibili, saranno riportati nel Catalogo.

In relazione alla attuale situazione si ritiene che la pubblicazione dello stesso possa essere prevista per la fine del corrente anno.

REGIONE	QUADRANTI	REGIONE	QUADRANTI
Piemonte	3970	Marche	239
Valle d’Aosta	287	Lazio	287
Lombardia	1739	Abruzzo	32
Trentino A. A.	1120	Molise	25
Veneto	1592	Campania	29
Friuli V. G.	604	Puglia	226
Liguria	417	Basilicata	44
Emilia R.	785	Calabria	13
Toscana	620	Sicilia	123
Umbria	101	Sardegna	38
TOTALE ITALIA	12346		

Estratto:

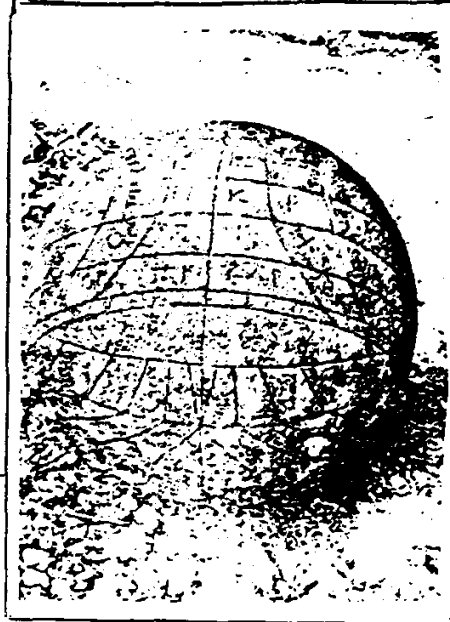
L'Autore esamina dettagliatamente e mette a confronto i due reperti evidenziandone similitudini e differenze

Com'è noto la gnomonica ebbe ampio spazio nella cultura scientifica greca e in quella romana, dopo che i concetti basilari della misura del tempo per mezzo delle ombre passarono nel III secolo a.C. dalla Mesopotamia alle regioni elleniche e successivamente a quelle romane. I nomi di Beroso, Apollonio, Aristarco, Anassimandro, Parmenio, Dyonisodoro, Andronico e tanti altri, insieme con quelli, più rinomati, di Tolomeo e Vitruvio, figurano in modo indelebile nella storia della gnomonica antica; quali esempi di "misuratori solari del tempo" prodotti in quelle civiltà basta ricordare, tra i più famosi, la Torre dei Venti ad Atene e l'Horologium Solarium di Augusto in Campo Marzio a Roma.

Reperti sciografici di quel periodo storico, conservati nei musei di oggi, sono ben numerosi; nel catalogo compilato con gran cura dalla statunitense Sharon Gibbs sono elencati quasi trecenti orologi solari greci e romani dei vari tipi; in particolare vi si trovano un centinaio di sfere cave, un altro centinaio di orologi cavi conici, una quarantina di quadranti piani suddivisi fra orizzontali e verticali e ancora una dozzina di cilindri concavi; peraltro sino al 1935 nessuna notizia né conoscenza si aveva di orologi solari su sfera convessa; in quell'anno l'archeologo statunitense Carl Blegen trovò tra le rovine di Prosymna, in Argolide, un globo di marmo bianco, con raggio di circa 26 centimetri, che portava incisi numeri, linee e lettere; il reperto fu identificato genericamente come "orologio solare" senza troppi approfondimenti (fig.1).

Questo modello di orologio solare rimase come esemplare unico del suo tipo sino al 1985 quando, nel corso di lavori alle fondamenta del Palazzo Pretorio di Matelica, nelle Marche in provincia di Macerata, fu ritrovato da Danilo Baldini un altro globo, di pietra, con lettere e numeri greci, sin dall'inizio cautamente identificato come "oro-

Fig.1 - Orologio solare sferico greco a terminatore d'ombra, ritrovato da Carl Blegen a Prosymna nel 1935; è databile al II secolo a.C.



logio solare a terminatore d'ombra"
(Fig.2).

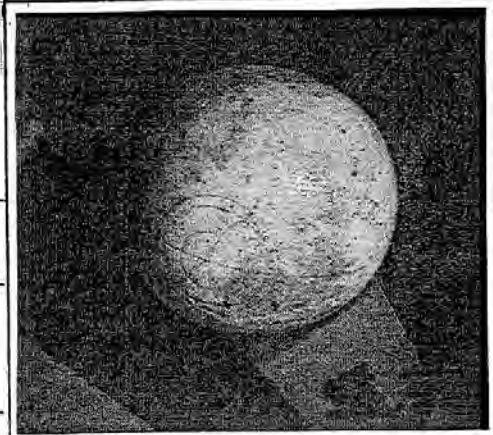
Questi due globi, unici nella storia della sciografia, vogliamo ora analizzare nell'ottica del loro "modus operandi" poiché mi sembra che a questo proposito si siano dette poche cose e, a mio parere, non tutte sufficientemente giuste. Tratterò in questa occasione solo gli aspetti gnomonici, lasciando agli esperti di archeologia, se lo vorranno fare, gli approfondimenti relativi alla datazione e alle origini dei due reperti.

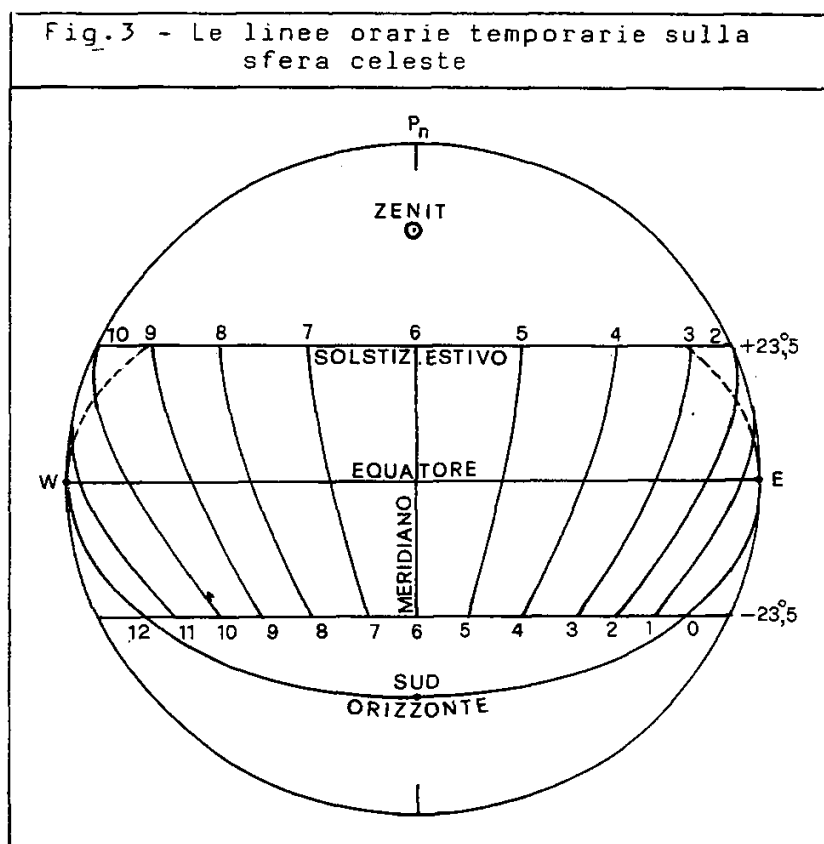
Come premessa dobbiamo ricordare che nella misura del tempo Greci e Romani usavano il sistema orario detto "temporale" o giudaico, o, meglio ancora, "delle ore diseguali". In questo sistema la durata del giorno-chiaro, dal sorgere al tramonto del Sole, viene divisa in 12 ore, qualunque sia la data; da ciò deriva che la durata dell'ora temporale è variabile in funzione della declinazione del Sole, risultando più lunga d'estate e più corta d'inverno; la numerazione va da 0 a 12, con l'ora 0 al sorgere, la 6 a mezzogiorno e la 12 al tramonto. Per indicare un riferimento ben noto, il sistema temporario è quello usato anche nei Vangeli quando trattano della Passione di Gesù Cristo.

Se sulla superficie di una sfera, che rappresenti la sfera celeste, tracciamo, all'interno della fascia zodiacale, le linee di posizione del Sole a parità di ora temporale (linee che possiamo chiamare anche "linee orarie") otteniamo un tracciato come nella figura 3, con le linee delle 0 e 12 coincidenti con l'orizzonte rispettivamente orientale e occidentale e quella dell'ora 6 coincidente con il meridiano.

Nella figura si nota bene la variabilità della lunghezza dell'ora al variare della data; per fissare le idee su questo punto, diciamo che alla latitudine di 40° l'ora temporale dura $1^h 15^m$ al solstizio d'estate, e 45^m al solstizio d'inverno. A titolo di curiosità osserviamo che se prolungassimo le linee orarie temporali oltre la fascia zodiacale, esse raggiungerebbero al nord il circolo polare distanziate di 2 ore (30°) mentre nella direzione opposta convergerebbero sul punto sud dell'orizzonte.

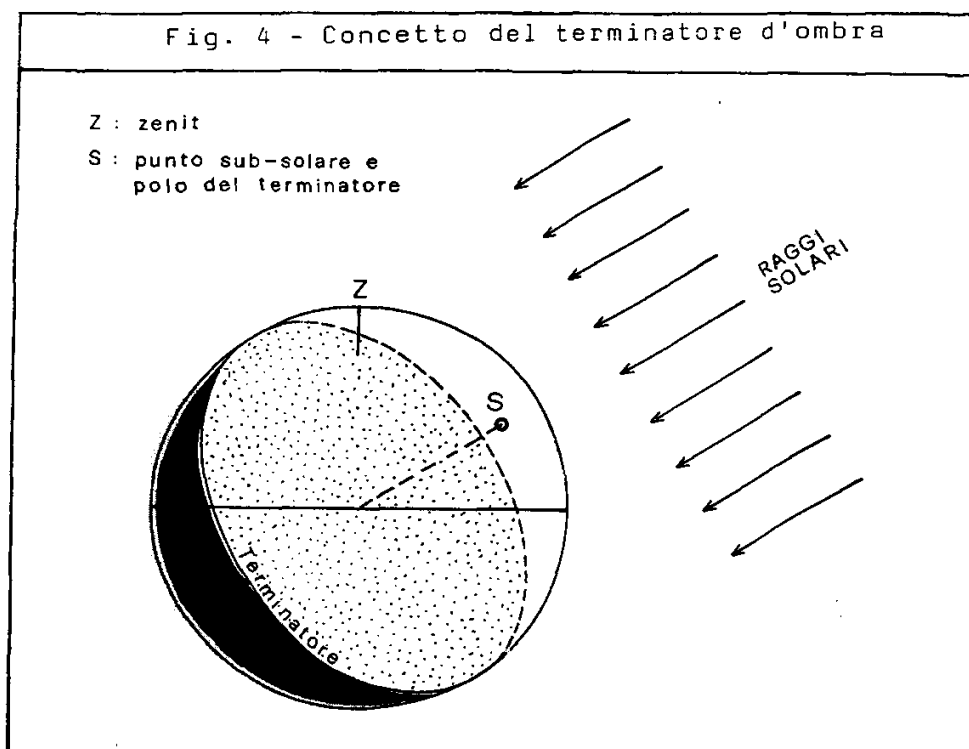
Fig.2 - Orologio solare sferico a terminatore d'ombra di origine greca, ritrovato a Matelica da Daniele Baldini nel 1985; può essere datato al II secolo a.C.(?)





Sulla sfera queste linee non sono curve regolari, ma ai nostri fini è importante notare che all'interno della fascia zodiacale, zona in cui l'orologio solare le impiega effettivamente, esse sono talmente prossime ad archi di cerchio massimo che la gnomonica le ha sempre considerate tali; ad esempio su tutti gli orologi cavi sferici greci e romani le linee orarie sono archi di cerchio massimo, e su quelli piani, come nella Torre dei Venti, sono conseguentemente tracciate come linee rette; in un trattato di gnomonica del '500 l'autorevole meridianista Cristoforo Clavio affermava senza esitazioni che "le linee orarie temporali sul piano sono linee rette". Anche i costruttori dei due globi che stiamo esaminando hanno trattato le linee orarie sulla sfera come archi di cerchio massimo, e così pure faremo noi nel nostro studio

Entrando nel vivo dell'analisi gnomonica, entrambi i globi appaiono chiaramente costruiti per operare con il criterio del "terminatore d'ombra" (o terminatore di luce, come dicono alcuni). Questo nome viene dato al cerchio massimo che, sulla sfera colpita dai raggi solari, divide la semisfera illuminata da quella in ombra (fig.4) e che in seguito chiameremo semplicemente "terminatore".



Mentre il Sole si sposta nel corso della giornata, anche il cerchio terminatore, di cui il Sole (o il punto subsolare) è il polo, si muove sulla sfera seguendo il movimento del Sole e mantenendo tutti i suoi punti a 90° dal Sole; il "cerchio terminatore", quindi, come il Sole, può servire a tutti gli effetti come misuratore del tempo o indicatore dell'ora.

Osserviamo peraltro, perchè ci potrà servire in seguito, che il terminatore è costituito ~~da~~ da raggi solari tangenti alla sfera, quindi è necessario che la superficie sferica sia perfettamente liscia e regolare; anche in tali condizioni, però, l'allungamento della inevitabile zona di penombra può rendere poco nitido il cerchio e poco precisa la lettura.

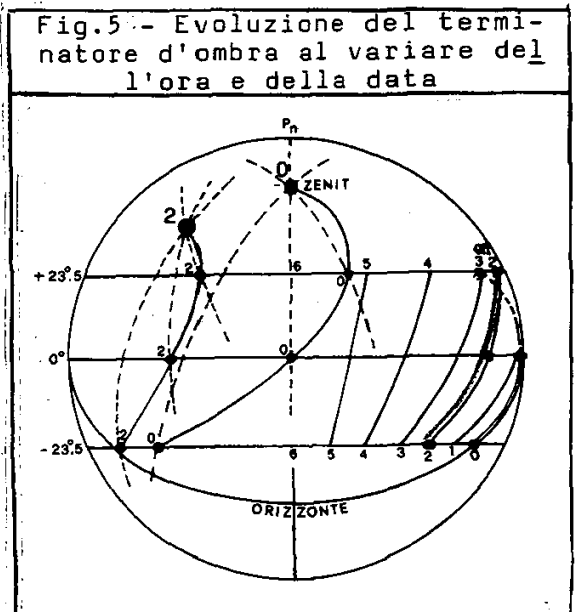
L'operazione di ottenere l'ora dal terminatore d'ombra si presenta piuttosto facile se si usano le ore civili, sempre eguali; tracciati su una sfera l'orizzonte e l'equatore diviso in archi di 15° con una numerazione di ore sfasata di 90° rispetto al Sole, disposta la sfera con lo zenit in alto e il polo settentrionale orientato verso il Nord, in qualsiasi giorno dell'anno l'ora eguale (civile, astronomica, oggi in uso) si legge dove il terminatore taglia l'equatore; in questo caso il punto del terminatore che indica l'ora è quello che ha declinazione ~~(nulla)~~ nulla.

Nel caso delle ore temporali diseguali il problema si presenta più complesso. Anzitutto occorre stabilire a qual punto del terminatore si vuol dare il compito di fornire le indicazioni cercate. Tra le varie soluzioni che si possono immaginare, analizziamo quelle che sono state adottate nei due globi all'esame; in essi i punti del cerchio terminatore prescelti per marcare l'ora e la data sono stati, nei vari diagrammi:

- 1- il punto con eguale declinazione del Sole;
- 2- il punto che è il polo della oraria temporale;
- 3- il punto di massima declinazione;
- 4- il punto di massima altezza;

Ognuna di queste scelte definisce e determina, come vedremo, uno specifico diagramma orario o calendariale.

Iniziamo con il primo di questi criteri, con il quale si impiega il punto del terminatore la cui declinazione è eguale a quella del Sole. Nella fig. 5 osserviamo il comportamento del terminatore al variare della data. Le ore sono rappresentate dalle linee subpolari (linee orarie temporali, già viste nella figura 3) segnate in nero da 0 a 6 per il solo mattino; le date sono rappresentate dai cerchi di declinazione del Sole, dei quali in figura sono disegnati solo quelli solstiziali ed equinoziali. Nel corso di una giornata in cui la declinazione del Sole è δ , mentre il Sole scorre sul suo cerchio di declinazione, il terminatore scorre sulla sfera e le ore,



- 5 bis -

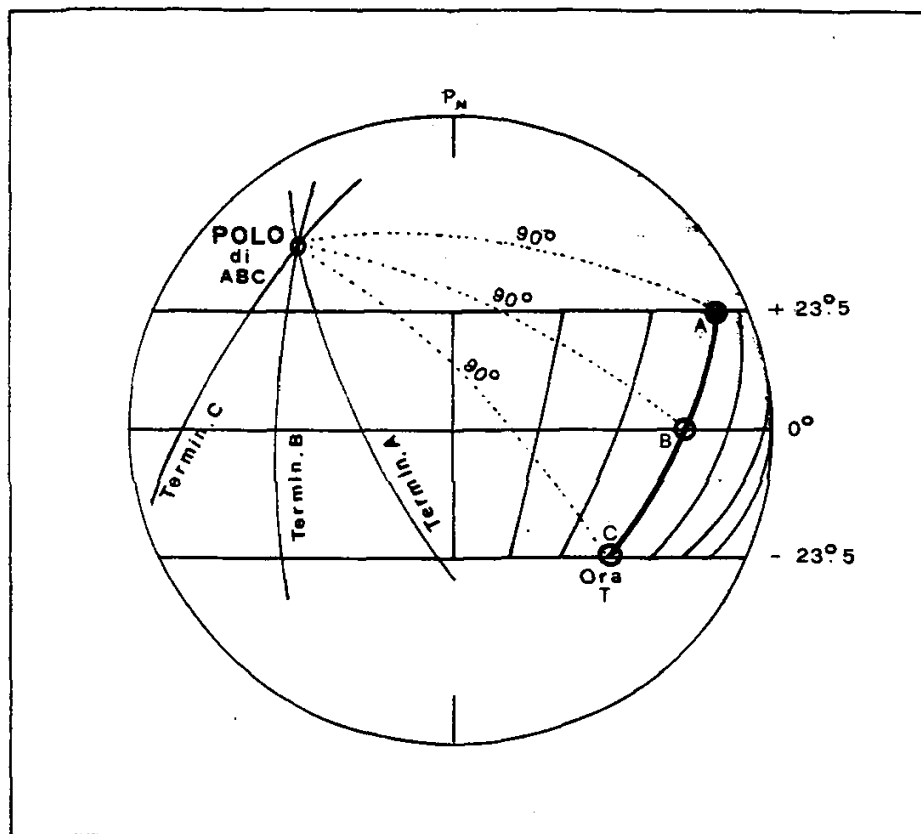


Fig. 5 bis

come la 0 e la 2, vengono segnate sullo stesso cerchio di declinazione solare, a 90° dal Sole. Invece nel corso dell'anno, a parità di ora - come ad esempio, l'ora 0 (rossa) o l'ora 2 (verde) - mentre il Sole al variare della declinazione si sposta sulla corrispondente linea oraria tra i due cerchi solstiziali, il terminatore, sempre a 90° dal Sole, si sposta sulla sfera (linee tratteggiate rosse e verdi) incontrando i vari cerchi di declinazione in punti come gli 0 (rossi) o i 2 (verdi). Unendo tutti i punti relativi alla stessa ora si ottengono delle linee (tratto intero, rosso e verde) che possiamo chiamare "linee orarie del terminatore". Agli effetti dell'impiego, l'ora si legge nel punto in cui il terminatore incontra il cerchio di declinazione del Sole corrispondente alla data; in sostanza queste linee sono i luoghi di posizione del terminatore che alla stessa ora hanno la stessa declinazione del Sole.

Passando al secondo dei quattro criteri per l'uso del terminatore che abbiamo elencato, osserviamo che la linea oraria temporale è un "arco di cerchio massimo", quindi vi è un punto, il suo "polo", su cui a quella specifica ora passano necessariamente tutti i terminatori dell'anno, come indicato ancora nella figura 5 per i terminatori dell'ora 0 e dell'ora 2. Questo punto, che chiamiamo "punto orario", può essere numerato con l'ora della linea oraria temporale da cui deriva ed ha un significato di notevole rilievo; infatti in tutti i giorni dell'anno, senza bisogno di conoscere la data, l'ora si trova nel "punto orario" su cui passa il terminatore. Geometricamente i punti orari così definiti sono i poli delle linee orarie temporali. (Fig. 5 bis).

Ovviamente le linee orarie del terminatore che abbiamo individuato poco fa (o i loro prolungamenti) debbono necessariamente passare per i corrispondenti punti orari che abbiamo ora definito.

Se completiamo per tutte le ore mattinali da 0 a 6 il disegno delle linee orarie del terminatore e dei corrispondenti punti orari, otteniamo il tracciato indicato nella fig. 6; su di esso la lettura dell'ora si può fare in due modi:

- sul punto orario dove passa il terminatore;
- sulla linea oraria, nel punto in cui il terminatore incontra il cerchio di declinazione della data.

Nell'esempio della figura la data, con declinazione δ , è due set-

6 bis

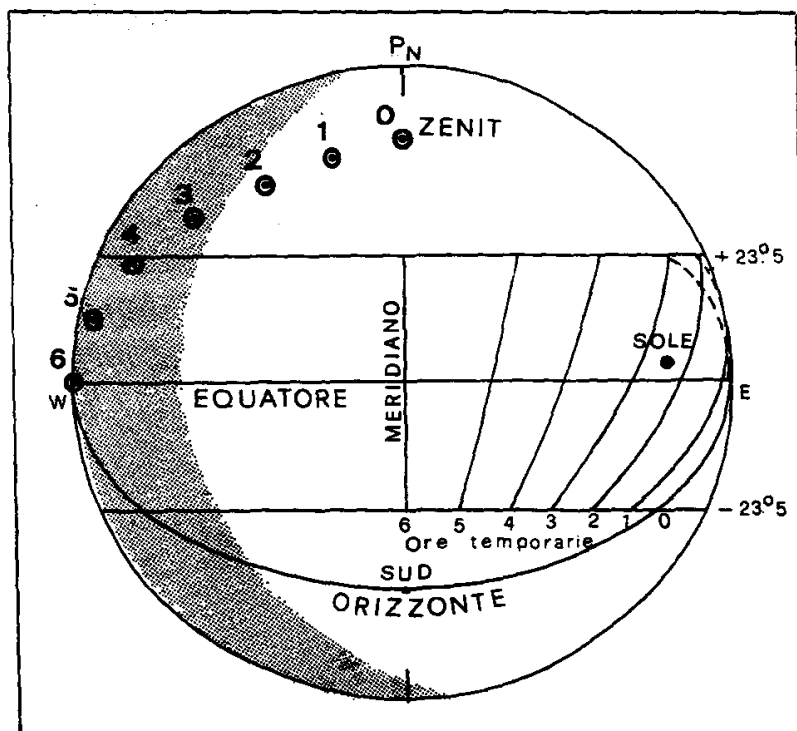


Fig - 6 bis

timane dopo l'equinozio di primavera (o prima dell'equinozio di autunno); l'ora che deriva dalla posizione del terminatore è la 3, marcata dal cerchio limite dell'ombra sia sul corrispondente punto orario sia sul punto in cui incontra il cerchio di declinazione della data.

Fig. 6 bis

Si noti che i punti orari 0 e 6 si trovano rispettivamente sullo zenit e sul punto ovest (W) dell'orizzonte; infatti in questi casi le linee temporali 0 e 6 da cui derivano i punti orari sono l'orizzonte e il meridiano, i cui poli sono rispettivamente lo zenit e il punto ovest.

All'atto pratico la sfera deve essere disposta con lo zenit in alto e con l'orizzonte orientato correttamente sui punti cardinali; perciò, se sviluppiamo in piano la superficie di tutta la sfera (fig.7), notiamo subito che, continuando il disegno per le ore pomeridiane oltre il mezzogiorno, il tracciato di linee orarie e punti orari (disegno rosso tratteggiato) passa sotto l'orizzonte e quindi nella parte inferiore della sfera, dove la lettura diventa poco agevole. Per ovviare all'inconveniente basta pensare che il terminatore è costituito da due semicerchi, uno anteriore e uno posteriore rispetto

Fig. 6 - Tracciamento delle "linee orarie dei terminatori" e dei corrispondenti "punti orari"

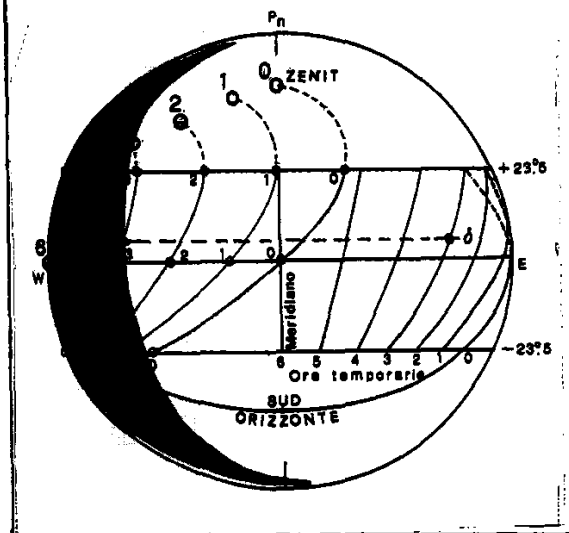
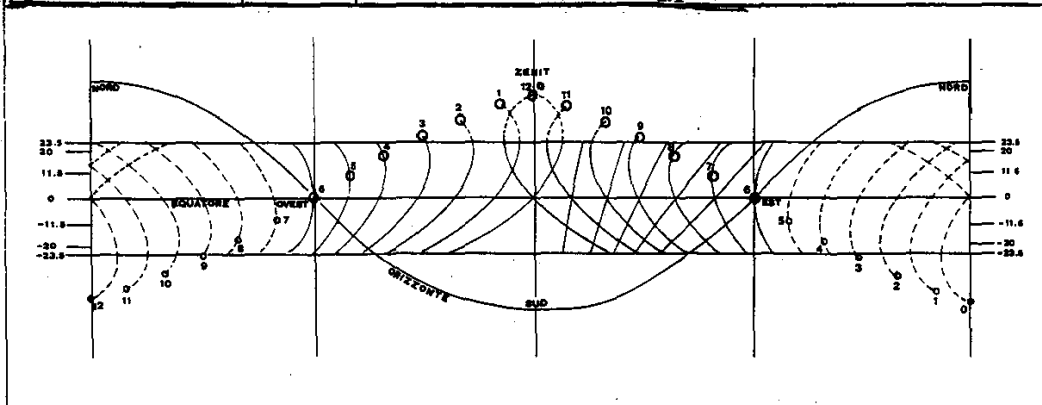


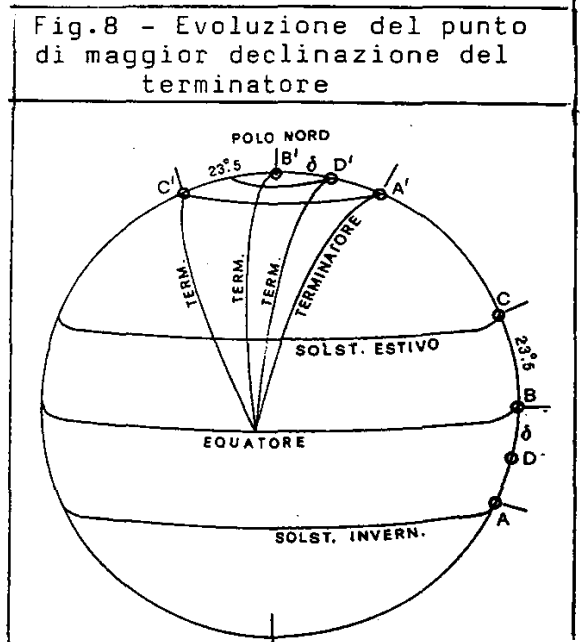
Fig. 7 - Sviluppo in piano dei diagrammi di "linee orarie" e di "punti orari", generati dal terminatore anteriore (in rosso) e da quello posteriore (in verde).



~~Il diagramma~~ al suo movimento; sinora abbiamo usato il semicerchio terminatore anteriore; a mezzogiorno, ora 6, conviene abbandonarlo e iniziare a usare il semicerchio terminatore posteriore (tracciato verde) che nelle ore pomeridiane (dalle 6 alle 12) lavora di nuovo nella semisfera superiore; l'orologio completo risulta così costituito dai due tracciati a tratto continuo rosso e verde, simmetrici rispetto al meridiano, che operano rispettivamente con terminatore anteriore e con quello posteriore.

Il diagramma delle linee orarie che abbiamo esaminato lo ritroveremo sul globo di Prosymna, mentre quello dei soli punti orari lo troveremo su entrambi i globi che vogliamo esaminare.

Si è detto che un altro criterio per l'uso del terminatore si serve del suo punto di maggior declinazione; questo criterio fornisce sulla sfera l'indicazione della data (fig.8). Se facciamo scorrere il sole lungo un meridiano tra i punti solstiziali A e C, il punto del terminatore che ha maggior declinazione si trova sullo stesso meridiano e scorre tra i punti A' e C' assumendo sempre "distanza polare" pari alla declinazione del Sole. Perciò nel corso di una giornata in cui la declinazione del Sole è δ (punto D) il terminatore scor-

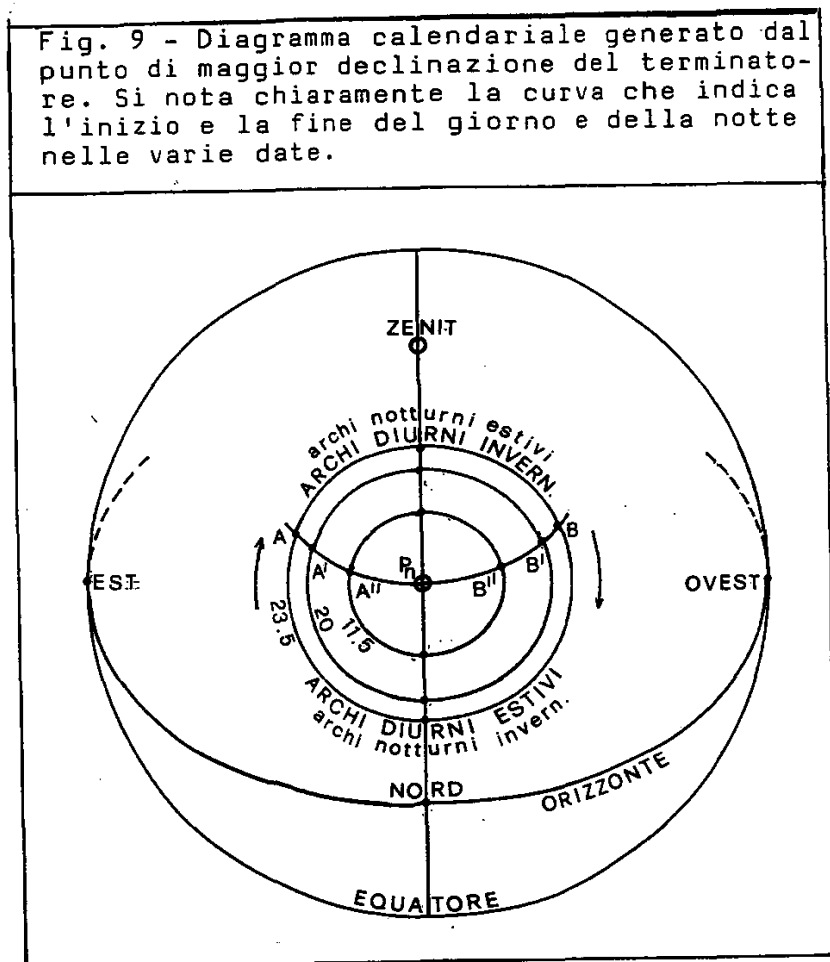


re sulla sfera restando tangente al cerchio di declinazione $90^\circ - \delta$; in questo modo la distanza dal polo nord del cerchio tangente, cioè la distanza B'D', fornisce la declinazione del Sole e quindi la data.

Applicando questo criterio intorno al polo nord si possono tracciare sulla sfera alcuni cerchi tra i quali interpolare la data in base alla tangenza ~~del~~ del terminatore; questi cerchi vanno interpretati a tutti gli effetti come quelle linee che nell'orologio solare sono chiamate "linee diurne", e rappresentano i luoghi dei punti del terminatore che hanno maggior declinazione alle varie date; ovviamente

quando il Sole è all'equatore, in B , il cerchio calendariale degenera nel punto ~~del polo nord~~ del polo nord B' .

La fig. 9 mostra un completo tracciato del genere, in cui i cerchi calendariali sono quelli zodiacali corrispondenti alle declinazioni



del Sole $11^{\circ},5$, 20° , $23^{\circ},5$; è facile dedurre che ogni cerchio vale per la stessa declinazione in valore assoluto, nel senso che gli archi rossi valgono per le declinazioni negative e gli archi neri per quelle positive.

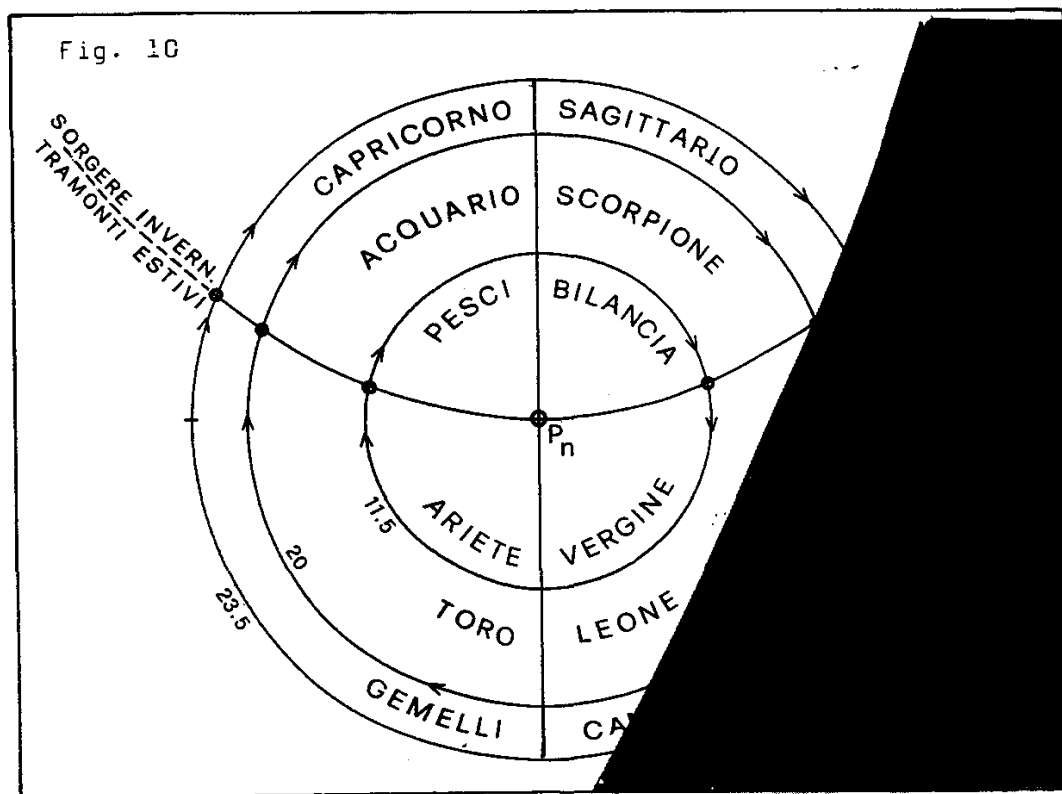
Ricordando che le posizioni del Sole distano 90° dai punti di tangenza del terminatore, sui cerchi calendariali i punti di tangenza invernali partono dai punti come A al sorgere e finiscono nei punti come B al tramonto, dopo aver percorso nella giornata gli archi rossi AB; mentre quelli estivi partono dai punti B e finiscono nei punti A dopo

aver percorso nella giornata gli archi neri BA. La curva AP_nB rappresenta perciò il luogo dei punti corrispondenti ai sorgere e tramonti alle varie date, nonché la linea di separazione tra gli archi diurni e notturni. In sostanza ogni cerchio, con i suoi 360° , rappresenta per ogni data la somma dell'arco diurno e dell'arco notturno; nel disegno si nota bene come il rapporto tra la durata del giorno e la durata della notte sia massimo al solstizio d'estate, diminuisca poi sino a divenire 1 all'equinozio e quindi continui a diminuire sino a raggiungere il minimo al solstizio d'inverno.

Bisogna ancora ricordare che ad ogni valore della declinazione del Sole corrispondono due date, una con il Sole in salita sull'eclittica e una con il Sole in discesa; perciò con questo calendario, come con tutti quelli che si servono della declinazione del Sole, spetta all'utente risolvere l'ambiguità tra una coppia di date, basandosi sulla stagione in corso.

Per la lettura della data, su ciascuna fascia compresa fra due archi diurni, si possono scrivere i segni zodiacali che corrispondono a quella fascia, come indicato nella figura 10. A titolo di esempio, nella figura il terminatore indica una data zodiacale prossima ai 20° del Leone (12 agosto) o ai 10° del Toro (30 aprile).

Questo tipo di calendario lo troveremo tracciato sul globo di Matelica.



Come si accennato all'inizio, una ulteriore utilizzazione del terminatore d'ombra si può avere considerando l'evoluzione del suo punto di maggiore altezza, anzichè quello di maggiore declinazione. In un dato istante prendiamo sulla sfera (fig.11) una posizione del Sole S, con altezza sull'orizzonte BS e azimuth Z; sul verticale del Sole BA prendiamo un punto A che si trovi a 90° dal Sole e quindi appartenga al terminatore; il suo azimuth risulta opposto a quello del Sole ~~e quindi appartiene al terminatore; il suo azimuth risulta opposto a quello del Sole~~ e la sua distanza zenitale AZ è eguale all'altezza del Sole; in questo modo abbiamo trovato il punto di massima altezza del cerchio terminatore. Nel corso della giornata, mentre il Sole descrive il suo

cerchio di declinazione (linea diurna), il punto A descrive una linea che possiamo chiamare "curva diurna" del punto di massima altezza dell'ombra per quella data; analogamente mentre il Sole nel corso dell'anno, a parità di ora, si trova nei punti di una stessa linea oraria, il punto A del terminatore viene a trovarsi nei punti di una curva che possiamo chiamare "linea oraria", per quell'ora, del punto di massima altezza del terminatore.

Disegnando le curve descritte dal punto A per le varie declinazioni e per le varie ore si ottiene un tracciato che sostanzialmente è un diagramma altazimutale e si presenta come nella figura 12; in questo esempio sono disegnate in rosso le tre curve diurne dei solstizi e dell'equinozio e in nero le linee orarie. Le linee dell'ora 0 e dell'ora 12 (sorgere e tramonto) risultano degenerare nello zenit, poichè in quelle ore, durante tutto l'anno l'altezza del Sole è 0 e altrettanto è la distanza zenitale del vertice dell'ombra.

Fig. 11 -- Il punto di maggiore altezza del terminatore può essere usato per tracciare sulla sfera un diagramma che metta in relazione l'ora e la data

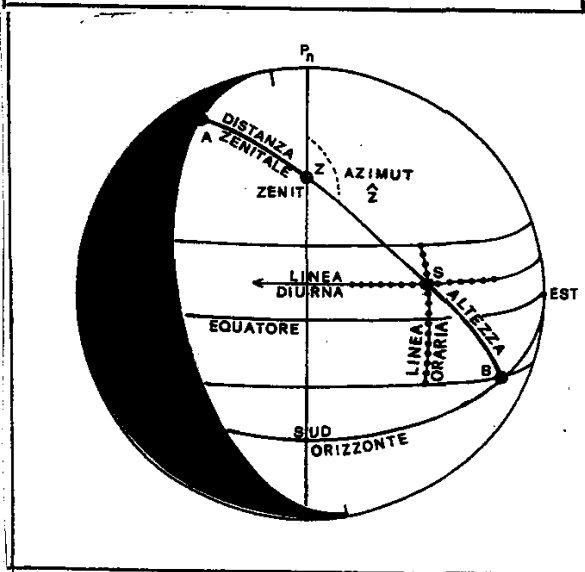
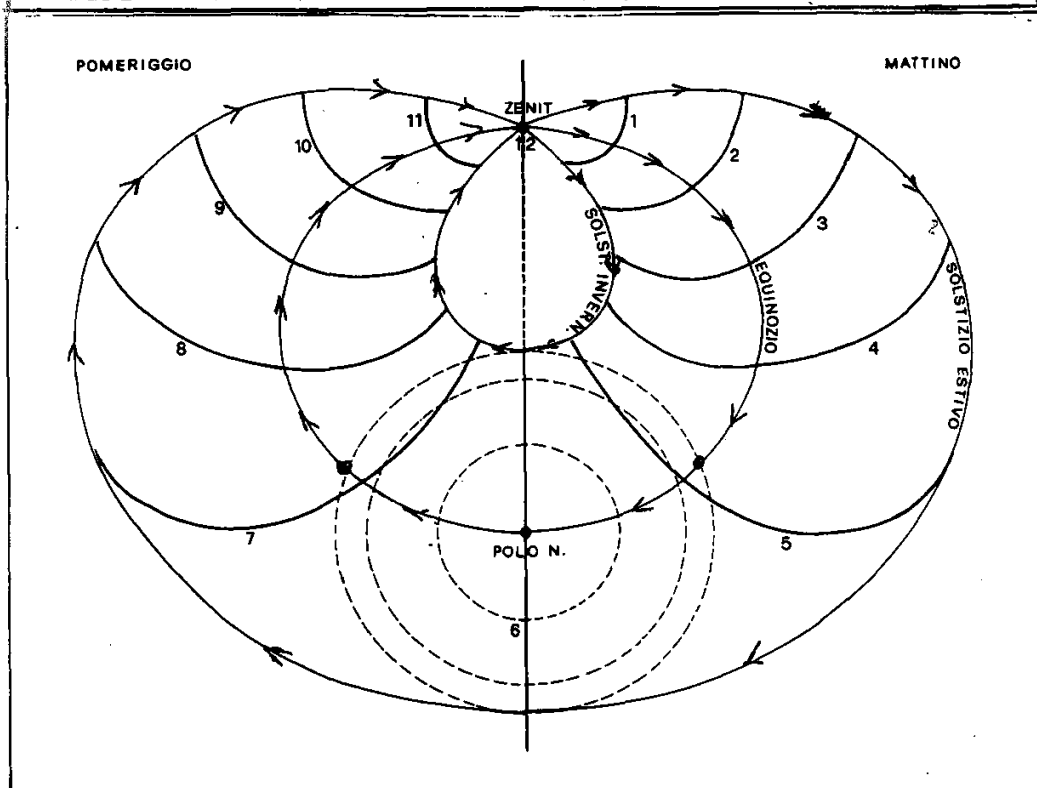


Fig. 12 - Diagramma dell'orologio-calendario generato dal punto di maggiore altezza del terminatore; le linee orarie sono tracciate in nero, quelle diurne in rosso



In via geometrica l'insieme delle due curve diurne dei solstizi che convergono nello zenit assomiglia a quella particolare linea conoide che è chiamata "lumaca di Pascal".

Agli effetti dell'impiego, la posizione del terminatore anche in questo caso mette in relazione la data e l'ora; se si conosce la data, nel punto d'incontro terminatore-declinazione si legge l'ora; se viceversa si conosce l'ora, il terminatore fornisce la data nel punto in cui incontra la linea oraria del momento.

Questo tipo di diagramma calendariale lo troveremo sul globo di Prosymna.

I tre cerchi con linee tratteggiate che si vedono intorno al polo non fanno parte di questo diagramma; essi sono le curve zodiacali che abbiamo visto nel precedente calendario e qui sono state aggiunte solo per far vedere il rapporto geometrico tra i due tipi di diagrammi calendariali esaminati; da notare anche che la curva equinoziale rossa

nel tratto interno ai tre cerchi tratteggiati, è quella linea che abbiamo visto nel precedente calendario come limiti degli archi diurni e notturni, ovvero luogo dei punti corrispondenti ai sorgere e tramonti (figure 9 e 10).

Esauriti così i criteri informativi degli orologi solari a terminatore d'ombra per il sistema orario temporale e dei calendari zodiacali connessi, possiamo finalmente a trattare dei due globi prodotti in epoca ellenica e utilizzatori dei concetti che abbiamo descritto.

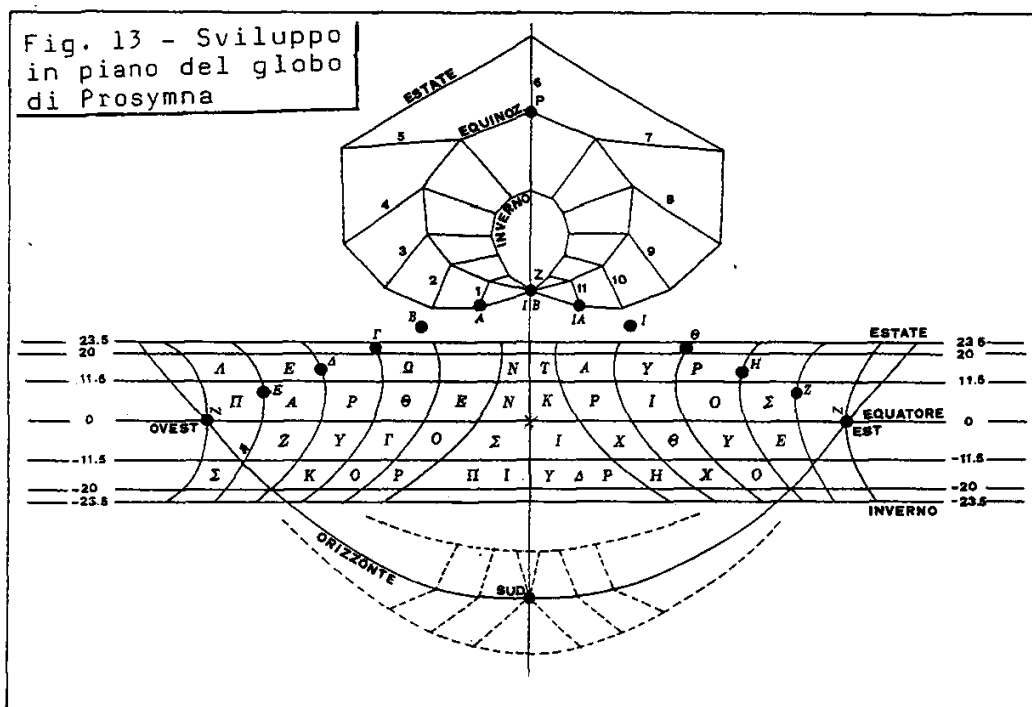
Iniziamo, per motivi di anzianità, con il globo di Prosymna (l'attuale Berbati, in Argolide) rinvenuto da Carl Blegen nel 1935, primo esemplare conosciuto di orologi solari di questo tipo; il reperto si trova in Grecia nel museo di Nauplion. Dalle distanze tra polo e orizzonte nonché tra zenit e equatore si deduce che la latitudine per la quale il globo fu costruito è compresa fra 35 e 36 gradi, mentre la latitudine di Argo-Micene (Prosymna) sta fra 37 e 38 gradi; questa discrepanza non significa molto, poichè spesso gli strumenti antichi presentano divergenze nella latitudine costruttiva, o per imperfetta conoscenza delle posizioni geografiche o per difetti di costruzione. D'altra parte l'errore massimo di lettura dell'ora per scarto nella latitudine di due gradi è dell'ordine di pochi minuti (per l'esattezza è compreso fra 5 e 8 minuti a seconda della declinazione e dell'ora) e rientra certamente nei limiti a quei tempi accettati per la misura del tempo.

Lo scopritore descrive brevemente questo globo in uno dei suoi articoli sugli scavi di Prosymna e, in base alle iscrizioni, lo attribuisce al II secolo a.C. Si tratta di una sfera di marmo bianco con 53 centimetri di diametro, quindi del peso di circa due quintali, ed è senza dubbio il primo esemplare mai conosciuto di questo tipo di orologi solari. Lo scopritore riconosce la sua scarsa conoscenza della gnomonica e non va oltre ad affermare che si tratta di un orologio solare.

La statunitense Sharon Gibbs riprende il racconto nel suo completo catalogo di orologi solari greci e romani (1976) e descrive il globo di Prosymna con molti particolari geometrici, ma secondo me con varie lacune e imprecisioni circa il suo "modus operandi". Tra l'altro la Gibbs parla di tre diagrammi, mentre alla luce di una analisi comple-

ta dobbiamo dire che essi sono quattro, poichè linee orarie e punti orari formano due diagrammi distinti e autonomi.

Nella figura 13 abbiamo sviluppato in piano il globo di Prosymna



con le inevitabili deformazioni che l'operazione comporta. In esso troviamo innanzitutto il polo nord, il meridiano, la fascia zodiacale con i tradizionali sette cerchi di declinazione agli inizi dei segni, lo zenit e l'orizzonte (le parole e i numeri in caratteri moderni sono stati aggiunti per chiarire meglio il disegno).

Da una parte e dall'altra del meridiano le fasce zodiacali sono indicate ~~con~~ con i nomi dei segni, alcuni dei quali abbreviati con l'elisione delle ultime lettere (come TAUR per Tauros e PARTEN per Partenos).

Nell'ambito della fascia zodiacale troviamo il tracciato delle "linee orarie del terminatore", originato dal terminatore anteriore per le ore mattinali da 1 a 6 e da quello posteriore per le ore pomeridiane da 6 a 11. Si noterà che mancano le curve delle ore 0 e 12 (sorgere e tramonto) che dovrebbero incrociarsi sul meridiano, come si è visto nella figura 7.

Sulle linee orarie del terminatore (o sui loro ipotetici prolungamenti) sono incisi i ben più importanti "punti orari", sui quali il

terminatore indica l'ora senza bisogno di conoscere la data; questi punti sono anch'essi serviti per le sei ore mattinali dal terminatore anteriore e per le sei ore pomeridiane da quello posteriore; essi sono indicati con i numeri da 1 a 12 (da alfa digamma e da digamma a iota-beta) come appare in figura; i numeri si riferiscono ovviamente anche alle curve. Si nota che questo secondo diagramma con i punti orari è più completo, perchè riporta anche il punto del sorgere-tramont (0-12) indicato con iota-beta (IB). Sottolineo ancora che questo secondo diagramma è autonomo e indipendente dalla fascia zodiacale, in quanto i punti orari sono validi per tutto l'anno, a prescindere dalla data (o dalla declinazione del Sole).

Sulla superficie della sfera i punti orari sono evidenziati da piccoli fori, il cui scopo non appare del tutto chiaro; io riterrei che servissero a reggere dei pioletti, di legno o di bronzo o di osso, la cui funzione doveva essere quella di trasformare l'ombra radente sulla superficie della sfera in ombra perpendicolare sul pioletto, per rendere la lettura dell'ora più agevole e precisa; ciò sembra particolarmente attendibile se si considera che la superficie della sfera è piuttosto grezza di finitura.

Un terzo diagramma si sviluppa tra zenit e polo nord; si tratta con evidenza del diagramma calendariale altazimutale servito dal "vertice in altezza del terminatore", che abbiamo analizzato in dettaglio poco fa; il tracciato è qui realizzato con tre linee diurne (equinozio e solstizi) del tipo geometrico simile alla "lumaca di Pascal" e con dodici linee orarie, di cui la 0-12 degenerata nel punto zenit. La fattura di questo diagramma è piuttosto grossolana, con tutte le curve sostituite da spezzate di segmenti rettilinei; la sua funzione potrebbe essere stata in alternativa quella di dare l'ora conoscendo la data o viceversa di dare la data in funzione dell'ora. Peraltro l'assenza di fori per i pioletti, lo scarso numero di linee diurne, e il disegno di spezzate in luogo di curve rendono molto precaria la funzionalità di questo diagramma. Non si può escludere che questo tracciato grossolano sia stato aggiunto in epoca successiva agli altri più raffinati.

Un quarto diagramma (disegno tratteggiato in figura) si sviluppa lungo il semicerchio sud dell'orizzonte. Di questo tracciato, mi rincresce di doverlo dire, non sono riuscito a capire il significato. Due semicerchi massimi, con origine nei punti cardinali est e ovest corrono accanto all'orizzonte formando due spazi tagliati da 11 e 13

segmenti.

La Gibbs ipotizza che questi segmenti siano anch'essi linee orarie servite dal terminatore d'ombra, ma, non essendo corrispondenti alla corretta geometria della sfera, ella suppone che siano stati disegnati sbagliati dal costruttore. Personalmente io sono poco propenso a definire "errato" ciò che non si riesce a capire; comunque la ricostruzione delle linee orarie del terminatore che ho fatto in quella zona della sfera è ben lontana dall'avvicinarsi al misterioso tracciato e dimostra che l'ipotesi della Gibbs è poco attendibile. Per ora quindi questo quarto diagramma rimane misterioso.

Per chiudere con il globo di Prosymna, segnalo ancora un suo aspetto non molto frequente negli orologi solari dell'antica Grecia; sotto la zona settentrionale della sfera vi è un'iscrizione dedicatoria con parole del dialetto ionico; in libera traduzione essa dice:

"Talia, sacerdotessa della dea Era, mi donò per annunciare giornalmente le ore solari". La dedica, tra l'altro, indica anche, per questo strumento, la prevalenza del compito "orologio" rispetto a quello evidentemente secondario di "calendario" (secondo me a tutto merito dei costruttori). Dai caratteri dell'iscrizione, tra l'altro ben peggiori di quelli dei segni zodiacali, Blegen deduce che la dedica può essere stata aggiunta alcuni secoli dopo la costruzione del globo.

Le figure 14, 15, 16 sono fotografie del globo di Prosymna, tratte dal libro della Sharon Gibbs "Greek and Roman Sundials", che mostrano alcuni dettagli di questo eccezionale orologio solare dell'antichità.

-
- 14) - Globo di Prosymna. Si vedono l'equatore, i cerchi di declinazione zodiacali e i nomi dei segni zodiacali inseriti tra le linee orarie. Al centro si nota, verticale, il tratto sud del meridiano. In alto a sinistra appaiono in buona evidenza i fori dei "punti orari" mattinali.
 - 15) - Globo di Prosymna. Diagramma del calendario nel quale si vedono bene le "linee diurne" del solstizio invernale e dell'equinozio, che convergono sullo zenit; la terza "linea diurna" (solstizio estivo) è troppo ampia per rientrare tutta nella foto. Tra le linee diurne appaiono alcuni tratti delle "linee orarie", tracciate nella forma di spezzate anziché come archi continui. Al centro si vede il tratto nord del meridiano, con il polo nord all'estremo inferiore (in questa immagine il diagramma calendariale appare rovesciato rispetto al disegno della figura 13).
 - 16) - Globo di Prosymna. Un tratto del misterioso diagramma che si sviluppa lungo l'orizzonte. Al centro vi è il punto cardinale sud, sul quale si incrociano il meridiano e l'orizzonte.

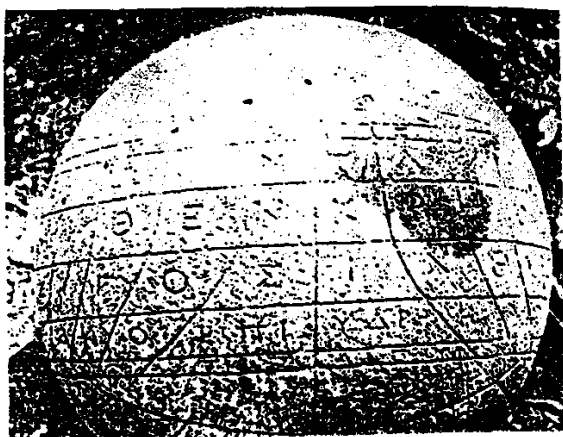


Fig. 14 - Globo di Prosymna.



Fig. 15 - Globo di Prosymna.

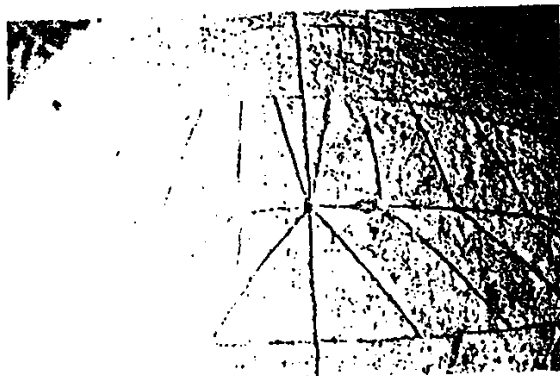


Fig. 16 - Globo di Prosymna.

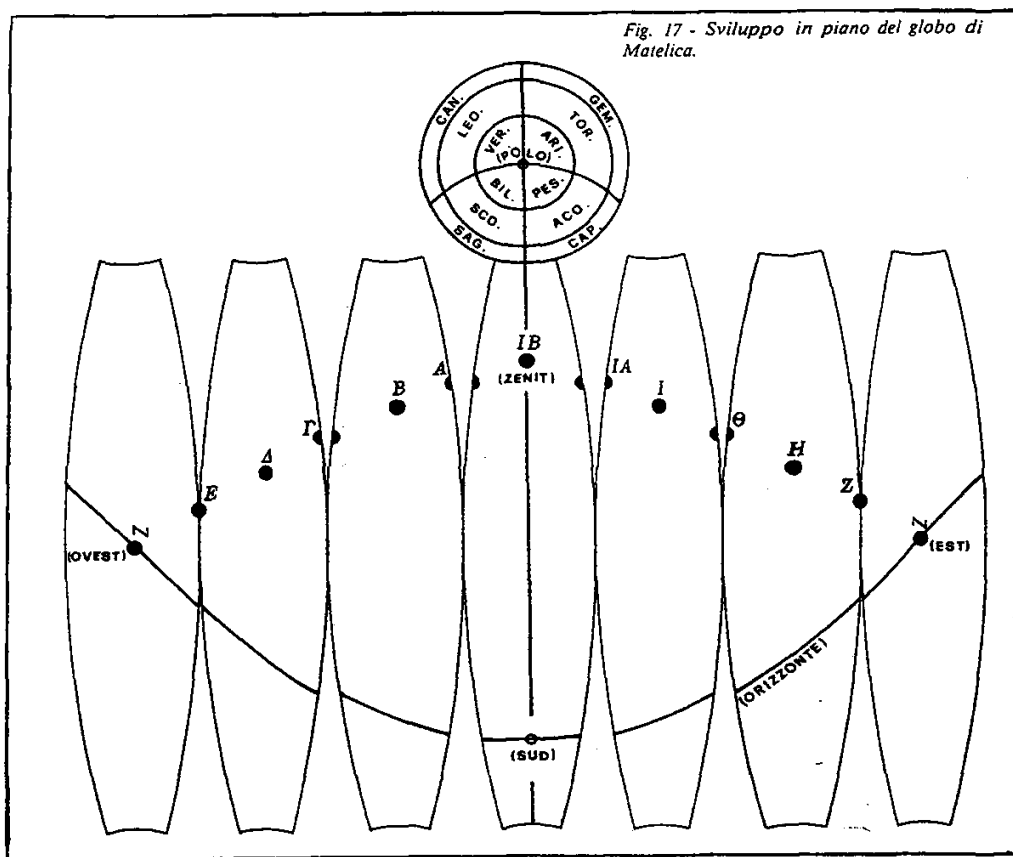
Passiamo ora a esaminare l'altro globo, quello di Matelica, che fu portato alla luce, per puro caso, nel 1985 e si trova ora nel museo Piersanti di quella cittadina.

La sfera di pietra ha un raggio di 146 millimetri e pesa circa 35 chilogrammi; quindi è decisamente più piccola di quella di Prosymna. Lo schema concettuale di questo orologio solare è eguale al precedente, e ciò induce a pensare che si possa attribuirlo alla stessa epoca (ma l'ipotesi potrebbe essere azzardata); la latitudine costruttiva, (ricavata dalla distanza polo-orizzonte, è piuttosto elevata poichè si aggira ^{intorno} a 44-45 gradi; la latitudine di Matelica è $43^{\circ}20'$, quindi sufficientemente corrispondente al disegno dello strumento; peraltro, secondo un esperto del luogo la qualità della pietra non è locale ed essa sarebbe invece

di origine greca.

La superficie del globo è piuttosto malandata e molte lettere delle incisioni non si leggono; ciò che rimane (lettere e numeri) appartiene certamente all'alfabeto greco. Personalmente non oso azzardare cosa facesse nel Piceno un orologio solare greco costruito per la latitudine di Matelica o vicinanze; forse si potrebbe pensare a un collegamento con la colonia siracusana stabilita da Dionigi il Vecchio ad Ancona all'inizio del IV secolo a.C.; o all'influenza ellenica sulla cultura romana dopo l'annessione del Piceno a Roma nel 268 a.C.; ma francamente debbo lasciare la risposta a chi è più esperto di me in questo campo.

Dal punto di vista funzionale (fig.17) questo strumento presenta



solo due quadranti, uno orario e uno calendariale, esattamente i due migliori tra quelli che abbiamo visto; perciò rispetto all'esemplare di Prosymna, il globo di Matelica si presenta più semplice e essenziale.

La figura mostra lo sviluppo in piano della superficie, eseguita alla maniera degli antichi cartografi; in essa vediamo, come elementi di base, il polo nord, lo zenit, il meridiano e il semicerchio sud dell'orizzonte (anche in questo disegno le parole italiane sono state aggiunte per dare più chiarezza al tracciato).

Per la funzione "orologio" qui vi è solo la sequenza dei punti orari che sono, come si è visto, i poli delle linee orarie temporali; anche in questo caso le ore mattinali usano il terminatore anteriore mentre quelle pomeridiane usano il terminatore posteriore; pertanto il tracciato dei punti orari è identico a quello del globo miceneo di Prosymna. Sui punti orari vi sono dei fori, probabilmente alloggi dei pioletti intesi a migliorare la lettura.

Intorno al polo nord vi è il calendario che abbiamo già analizzato, con i tre cerchi zodiacali e la curva che delimita gli archi diurni-notturni invernali ed estivi. Le indicazioni dei segni zodiacali si vedono poco, ma le lettere residue (come ad esempio le prime quattro di Partenos) non lasciano dubbi sulla loro disposizione.

Le figure 18 e 19 mostrano fotografie del globo di Matelica, facendo vedere i dettagli di alcuni interessanti aspetti del reperto.

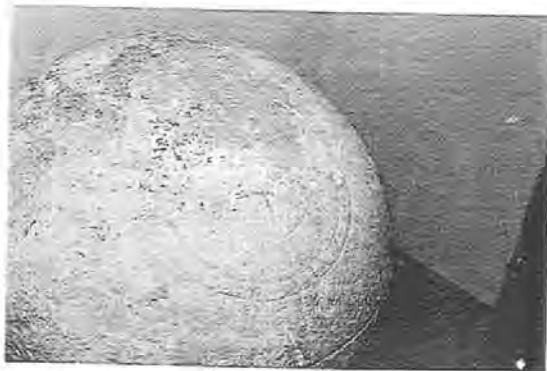


Fig. 18 - Globo di Matelica. La zona del polo nord, con tutto il diagramma calendariale.



Fig. 19 - Globo di Matelica. La foto mostra la zona «polo-zenit» dell'orologio solare; si notano in basso a sinistra i tre cerchi zodiacali del calendario, con l'arco che separa i giorni e le notti e indica i punti dei sorgere e tramonti; in alto a destra si vedono i «punti orari» mattinali.

A questo punto penso che il "modus operandi" di questi due eccezionali orologi solari ellenici si possa considerare del tutto chiarito, con l'eccezione di uno dei quattro quadranti del globo di Prosymna.

Lascio agli esperti le risposte ai quesiti che riguardano altri campi della ricerca, in particolare datazione e origine dei reperti.

Dal punto di vista tecnico io penso che nessuna meraviglia possa nascere dalle conoscenze astronomiche che hanno governato la costruzione di questi due globi; l'astronomia di quei secoli, comunque vengano datati i reperti, era certamente in grado di fornire ai costruttori gli elementi necessari per tracciare orologi solari di ogni tipo. Invece ciò che certamente desta meraviglia e ammirazione, in aggiunta all'evidente inventiva, è l'approfondita conoscenza della geometria della sfera dimostrata dai costruttori e la conseguente capacità di trasferire sulla sfera convessa i moti annuali e diurni del marcatempo Sole, interpretati attraverso il transito del terminatore d'ombra.

FINE

CALENDARIO E MERIDIANE GIANNI FERRARI

ESTRATTO

Vengono esaminati i fenomeni che subiscono variazioni nello stesso giorno di anni successivi dovute al nostro calendario e la loro influenza sugli orologi solari. Si conclude che gli errori che ne risultano sono quasi sempre di entità trascurabile anche se la loro entità dipende spesso dalle tabelle di valori medi utilizzate. In Appendice sono riportate nuove tabelle di valori medi.

Generalità - Dipendenza delle linee di un orologio solare dalla Declinazione del Sole

Tutti sappiamo che quando i raggi del Sole colpiscono un oggetto e ne gettano l'ombra su una superficie, la posizione di questa ombra dipende dalla posizione del Sole e varia durante la giornata, al trascorrere delle ore, e durante l'anno, al trascorrere delle stagioni.

Se consideriamo come "oggetto" che getta l'ombra un elemento geometrico semplice, come un punto o un segmento di retta, e come superficie una superficie geometricamente semplice, come un piano o una superficie di rotazione o di rivoluzione, la posizione dell'ombra diventa facilmente determinabile e l'insieme dei due elementi può essere considerato un orologio solare.

Per realizzare l'orologio possiamo tracciare sulla superficie, con metodi geometrici o analitici, le linee percorse dall'ombra in una stessa ora nelle diverse stagioni (linee orarie) o quelle percorse dall'ombra durante una intera giornata (linee diurne).

Soltanto negli orologi solari a tempo vero nei quali l'ombra è prodotta da uno stilo polare - sia esso un'asta o il bordo di una piastra sagomata - le linee orarie dipendono soltanto dall'angolo orario del Sole, cioè dall'angolo diedro compreso fra il piano contenente il Sole passante per l'asse polare e il piano meridiano Nord-Sud del luogo.

In tutti gli altri casi, e sempre per le linee diurne, la posizione dei vari punti-ombra dipende oltre che dall'angolo orario anche dalla declinazione δ del Sole¹.

In altre parole per determinare la posizione dei punti, che uniti formano le linee sugli orologi solari, occorre utilizzare i valori assunti dalla declinazione δ del Sole nei vari giorni dell'anno.

È opportuno quindi chiedersi quale valore della declinazione sia più corretto usare nei calcoli che bisogna sviluppare per determinare un punto della meridiana: la declinazione infatti cambia al passare delle ore in un dato giorno e anche da un anno all'altro nello stesso giorno.

Non terro conto in questa relazione della variazione giornaliera della declinazione anche se essa può arrivare, in prossimità degli Equinozi, sino a circa 23' al giorno e

quindi a più di 12' nel periodo di tempo in cui l'orologio è illuminato dal Sole.

Periodicità e variazioni della declinazione δ del Sole

La durata di tempo che la Terra (o il Sole per i Tolemaici) impiega a percorrere la sua orbita prende il nome di anno. È a tutti noto che in astronomia si definiscono diversi tipi di anno (tropico, siderale, anomalistico, giuliano) a seconda di quale fenomeno si prende in considerazione come inizio e come fine del ciclo²; in ogni caso tutti i diversi tipi di anno hanno durate che sono di qualche ora maggiori di 365 giorni.

Per gli usi civili, l'anno che occorre considerare è l'anno tropico che è definito come il periodo di tempo dopo il quale le posizioni del Sole in cielo (e quindi le stagioni) si ripetono uguali a se stesse rispetto ai sistemi di riferimento locali.

Il fatto che l'anno tropico non sia costituito da un numero intero di giorni (come capita ad esempio per la Luna per la quale è lungo esattamente 1 giorno lunare) produce un piccolo effetto sugli orologi solari, sulle loro indicazioni e sulle modalità di calcolo che è opportuno seguire.³

La posizione del Sole in cielo in una certa ora, di una certa data, di un certo anno (1' istante) differisce leggermente da quella assunta nella stessa ora, nella stessa data dell'anno successivo (2' istante).

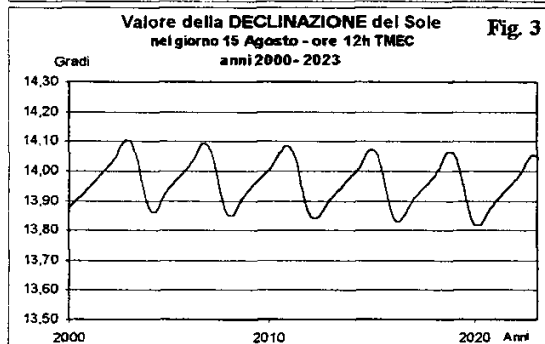
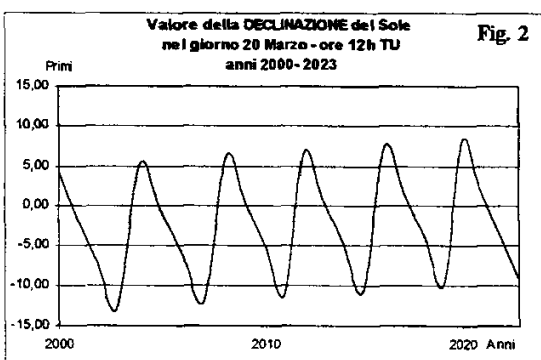
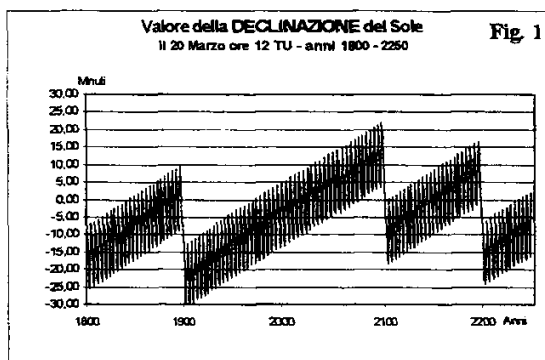
Nel 2' istante il Sole sarà un poco più in basso o più in alto rispetto all'orizzonte poiché, non essendo trascorso un intero anno tropico ma solo 365 giorni (o 366 se l'anno è bisestile), il valore della sua declinazione δ sarà maggiore o minore di quello che aveva 365 giorni prima.

L'arco descritto dal Sole in cielo durante il giorno risulta quindi leggermente diverso, come altezza e come lunghezza, da quello descritto lo stesso giorno l'anno precedente, come anche saranno diverse le sue posizioni su questo arco diurno in istanti successivi.

² Nell'anno anomalistico è l'istante del passaggio della Terra al Perielio; nell'anno siderale è l'istante in cui la Terra e il Sole sono allineati con una data stella; nell'anno tropico è l'istante in cui la Terra passa per il punto in cui la sua orbita attraversa il piano dell'Equatore Celeste.

³ La durata dell'anno tropico è, all'inizio dell'anno 2000, pari a 365.2421896698 giorni = 365g 5h 48m 45.2s e varia lentamente calando di circa 0.53 secondi per secolo. L'anno tropico quindi differisce dal valore $(365 + 1/4)$ per 11m 14.8s.

¹ La declinazione di una stella è l'angolo, appartenente al piano passante per l'astro e per l'asse polare, compreso fra l'intersezione di questo piano con l'Equatore Celeste e la posizione della stella.



Nella Fig. 1 e 2 sono rappresentati i valori assunti dalla Declinazione δ del Sole nel giorno 20 Marzo alle ore 12h di TU degli anni dal 1800 al 2250 e dal 2000 al 2024. Essendo l'istante prossimo all'Equinozio di Primavera il valore della Declinazione è molto basso e varia da circa $-31'$ nel 1903 a $+21.7'$ nel 2096.

L'andamento della Decl. δ ha un andamento periodico con periodo di 4 anni e ciò per il ritardo che si accumula in 4 anni e che viene quasi totalmente compensato dal giorno bisestile.

La piccola variazione che rimane non compensata dipende dalla differenza, uguale a $11m\ 15s$, fra l'anno tropico e 365.25 giorni.

Questa differenza che produrrebbe un avanzamento di un giorno ogni 128 anni viene compensata a sua volta dalla eliminazione dei giorni bisestili secolari come si vede molto chiaramente dal grafico di Fig.1

Nella Fig.2 si è riportato lo stesso andamento per una durata di soli 24 anni mentre nella Fig. 3 si ha l'andamento della δ in un giorno diverso dell'anno (15 Agosto)

Ad es. nel giorno 20 Marzo (giorno dell'Equinozio) si hanno i valori (ore di TU) :

- nel 2000 ore 0h	$\delta = -7.51'$	ore 12h $\delta = +4.34'$
- nel 2001	$\delta = -13.35'$	$\delta = -1.49'$
- nel 2002	$\delta = -19.03'$	$\delta = -7.17'$
- nel 2003	$\delta = -24.67'$	$\delta = -12.82'$
- nel 2004	$\delta = -6.73'$	$\delta = +5.13'$ ecc.

Come si può vedere (Fig.2) il valore della δ in un dato giorno può cambiare anche di $1/3$ di grado nell'arco di 20 anni

Quale valore di declinazione usare nei calcoli. Errori

Per quanto detto prima si pone il problema, per il progettista di meridiane, di scegliere un valore idoneo della declinazione δ del Sole per fare il calcolo di un orologio solare relativamente a un dato giorno.

Sono possibili diversi metodi :

1. Si possono usare i valori della δ che il Sole assume in un certo anno (ad esempio quello in cui si fa il progetto) calcolandoli con un apposito programma o ricavandoli da un Annuario astronomico (in cui i valori sono calcolati alle ore 0h di ciascun giorno). È questo il metodo che, pur essendo il più semplice, porta a maggiori errori. Questo metodo è spesso usato in quei programmi per il calcolo di meridiane che richiedono l'anno quando

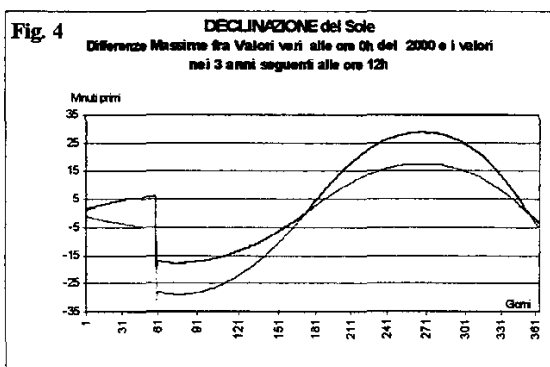
si inizia un nuovo progetto : all'interno di questi programmi infatti sono utilizzati degli algoritmi con cui vengono calcolati esattamente i valori della δ del Sole nei vari giorni di quell'anno.

2. Si può usare la media dei valori assunti dalla declinazione nel giorno in esame in 4 anni consecutivi.

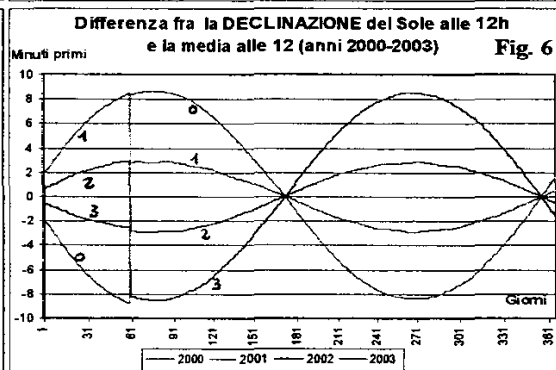
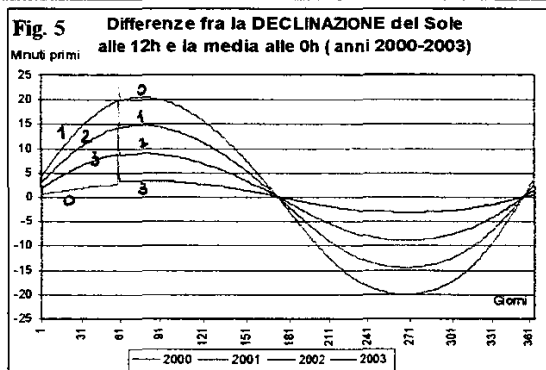
È questo il metodo più usato. Tutte le tabelle riportate sui libri che trattano di orologi solari contengono i valori medi su 4 anni.

Occorre osservare però che, quasi sempre, i valori utilizzati per ottenere le medie, sono quelli calcolati per le ore 0h in quanto sono questi i valori che si trovano riportati sugli Annuari. Sarebbe molto più logico, e si avrebbero errori inferiori, se venissero utilizzati i valori della δ calcolati per le ore 12 locali (ad es. per l'Italia alle ore 11 di TU o di GMT)

3. Si possono usare i valori medi calcolati utilizzando un numero maggiore di anni (sempre multiplo di 4) come ad es. 20, 24, 32, 40, ..., 100 anni. In ogni caso queste medie devono essere ricavate dai valori di δ calcolati alle ore 12h locali. Così facendo si diminuiscono le differenze massime fra i valori veri e i valori medi utilizzati nel calcolo.



In Fig. 4 i grafici esterni ci danno i valori massimi delle differenze fra i valori della Declinazione calcolati alle ore 0h nei giorni dell'anno 2000 e i valori calcolati alle ore 12h nei tre anni seguenti. Si vede che gli errori si annullano ai Solstizi e sono massimi agli Equinozi. Le differenze massime fra i valori veri e quelli usati per il calcolo della meridiana possono quindi differire nello stesso anno sino a $\pm 28'$. La brusca variazione è in corrispondenza del giorno 28 Febbraio ed è dovuta al giorno bisestile 29 Febbraio 2000.



Nelle Fig. 5 e 6 sono rappresentati i grafici che danno, per gli anni 2000-2003, le differenze fra i valori veri della δ (alle ore 12h quando la meridiana è in funzione) e quelli ottenuti facendo una media su 4 anni alle ore 0h e alle ore 12h. Come si può vedere le differenze massime arrivano a circa 20' nel primo caso e solo a 8' nel secondo. Per gli anni successivi al 2003 le differenze ovviamente diventano superiori. Anche in questi grafici si hanno discontinuità il 28 Febbraio

Queste differenze massime però dipendono anche dal periodo di tempo in cui si prevede di utilizzare la meridiana.

Infatti gli errori non calano sempre al crescere dell'arco di tempo su cui si calcola la media (vedi tabella I) per cui sarebbe una buona norma utilizzare le medie dei valori di δ calcolati sul periodo di tempo in cui si presuppone l'orologio resterà in funzione.

In altre parole utilizzare una tabella che riporti i valori medi della declinazione fatti su un arco di 100 anni (ad es. reperibile in Internet) per calcolare un orologio solare che si desidera molto preciso, e che si presuppone verrà utilizzato per 20-30 anni, porta ad errori leggermente superiori a quelli ottenibili con una semplice media di valori fatta su soli 4 anni.

I confronti⁴ fra i valori ottenuti con differenti medie e i valori esatti della declinazione calcolati per tutti i giorni

⁴ Il procedimento che si è seguito per ottenere i valori tabulati è il seguente: per ciascuna data si sono calcolati i valori esatti della δ in tutti gli anni del periodo di riferimento ottenendo il valore medio di δ del periodo in quel giorno. In seguito si sono calcolati i valori della δ nella stessa data per tutti gli anni di ciascun periodo di osservazione (2', 3', colonna) e si sono

di un dato periodo hanno dato i risultati riassunti nella tabella I che segue.

In essa sono riportati gli errori massimi sul valore della declinazione δ del Sole, alle ore 12, che si possono commettere, durante l'intero periodo preso in esame, usando i valori indicati come "Valori di Riferimento". Tutti i valori sono espressi in primi d'arco

Come conclusione si ricava che gli errori più grandi si commettono quando:

- Si usano i valori calcolati per un dato anno e non dei valori medi (1' riga della tabella)
- Si utilizzano tabelle di valori medi calcolati alle ore 0h GMT in periodi antecedenti di qualche decina di anni. (2' riga della tabella)

Tabelle di questo tipo si trovano in molti testi che vengono ancora ristampati ma che furono compilati qualche decina di anni fa. Gli errori sono dovuti essenzialmente alle lente variazioni della δ che sono

trovate le differenze fra questi valori e il valore medio. Infine si è calcolato il massimo e il minimo di queste differenze per tutti i giorni dell'anno.

compensate dalla eliminazione dei giorni bisestili secolari. Sembra quasi una incongruenza ma si hanno errori sulla δ minori se si utilizzano tabelle di valori medi calcolati quasi 150 anni or sono (vedere Fig. 1)

Si utilizzano tabelle i cui valori sono stati calcolati alle 0h TU (o GMT) (3' riga della tabella) o addirittura alle 0h locali in una località degli USA con una differenza di fuso orario di 6-9 ore rispetto a noi - in questo caso la differenza fra le nostre 12h locali e gli istanti di calcolo raggiunge le 18-21 h. Quasi sempre i valori che si hanno nelle tabelle che si trovano pubblicate sui libri sono medie di valori ricavati da Annuari astronomici e quindi calcolati alle ore 0 GMT

Gli errori in questo caso sono dovuti al fatto che gli orologi solari sono utilizzati fra le 6h e le 18h locali (circa) e quindi in un intorno delle 12h di tempo vero locale (in Italia circa alle ore 11h di TMEC)

Questo ci fa anche capire che, ad es., una tabella calcolata per le 12h GMT non è certamente la migliore da utilizzare in Australia (e viceversa !)

Dalla Tabella I si vede anche che il periodo su cui sono fatte le medie dei valori della δ non ha molta influenza : un periodo di 4, 24, 48 anni è sempre più che sufficiente per ridurre gli errori a meno di 1/4 - 1/5 di grado.

TABELLA I - Errori massimi sul valore della declinazione δ del Sole

Valori di Riferimento	Periodo 1 anno Anno 2000	Periodo 4 anni Anni 2000 - 2003	Periodo 24 anni Anni 2000 - 2023	Periodo 48 anni Anni 2000 - 2047	Periodo 100 anni Anni 2000 - 2099
Valori dell'anno 2000 alle ore 0h	± 10.9	± 27.4	± 30.9	± 35.0	± 43.9
Media su 4 anni alle ore 0h Anni 1980-1983	± 23.0	± 23.0	± 26.8	± 31.0	± 40.6
Media su 4 anni alle ore 0h Anni 2000-2003	± 19.4	± 19.4	± 23.1	± 27.5	± 37.1
Media su 4 anni alle ore 12h Anni 2000-2003	$-8.7 \div +8.7$	± 8.7	± 12.3	± 16.7	± 26.2
Media su 24 anni alle ore 0h Anni 2000-2023	$-10.5 \div +6.9$	± 10.5	± 10.5	± 14.8	± 24.3
Media su 48 anni alle ore 0h Anni 2000-2047	$-12.5 \div +4.7$	± 12.6	± 12.6	± 12.6	± 22.2
Media su 100 anni alle ore 0h Anni 2000-2099	$-17 \div +1.0$	± 17.3	± 17.3	± 17.3	± 17.5

Errori massimi sul valore della declinazione δ del Sole

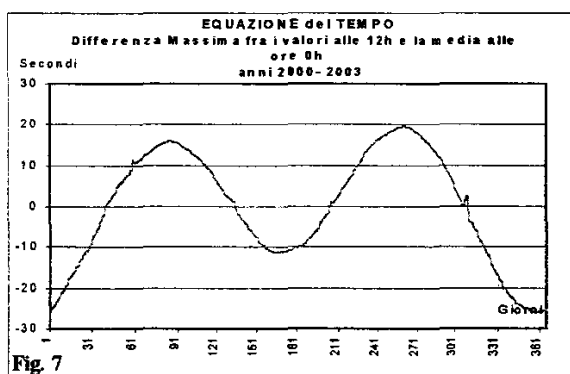
In ogni casella sono dati i valori massimi, in primi d'arco, delle differenze fra i valori veri della declinazione in un qualunque giorno del periodo indicato in testa alla colonna e i valori medi per quel giorno ottenuti come indicato nella colonna "Valori di Riferimento". In altre parole utilizzando i valori di riferimento si è certi che l'errore sulla δ , nel periodo indicato, sarà inferiore al numero di ' riportati in ciascuna casella. Si sono evidenziati i casi con errori più bassi. Si può vedere come sia consigliabile l'utilizzo di una tabella di valori medi calcolati alle ore 12h su un periodo da 4 a circa 50 anni (ovviamente multiplo di 4)

Variazioni della Equazione del Tempo

Anche i valori dell'Ascensione Retta e della Longitudine celeste del Sole sono soggetti a delle leggere variazioni nello stesso giorno di anni successivi, variazioni che hanno nel tempo andamenti analoghi a quelli già visti per la declinazione.

Questo fenomeno produce tre effetti :

- la variazione degli istanti in cui il Sole entra in ciascuno dei segni Zodiacali e in particolare degli istanti degli Equinozi e dei Solstizi
- una variazione periodica del valore della Equazione del Tempo



Nella Fig.7 il grafico rappresenta le differenze massime fra i valori veri della Equazione del tempo alle ore 12h locali e i valori medi fatti alle ore 0h su 4 anni.

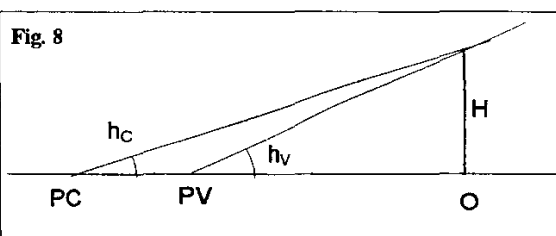
- una variazione periodica degli istanti dell'alba e del tramonto del Sole

Le differenze dei valori della Equazione del Tempo rispetto valori medi, calcolati su 4 anni alle ore 0h, possono raggiungere i 20-25 sec di tempo (Fig. 7)

Queste differenze sono leggermente inferiori se il calcolo è fatto alle ore 12h locali e se si aumenta il periodo usato per trovare le medie.

Valgono anche ora, anche se l'effetto sugli orologi solari è inferiore, le stesse considerazioni, sul periodo su cui fare le medie, già fatte in precedenza

Fig. 8



Meridiana Orizzontale - Distanze dal piede dell'Ortostilo dei punti-ombra Vero e Calcolato

Effetti sugli orologi solari

Effetto della variazione della declinazione

Quando si esegue il progetto di un orologio solare **non a tempo vero** o quello di una linea meridiana - ad es. a tempo medio - il punto relativo a una data ora, di un dato giorno dell'anno (ad es. il 15 Agosto alle ore 12h), viene determinato utilizzando il valore della declinazione δ del Sole in quel giorno e tale grandezza viene in genere o ricavata da una tabella o ottenuta con un calcolo particolare.

Se in seguito, nello stesso giorno e nella stessa ora ma in anni successivi, si osserva l'ombra dell'estremo dello gnomone (o il centro della macchia luminosa - punto luce - se lo gnomone è forato) - si può vedere, se le dimensioni del nostro orologio lo permettono, che le posizioni del punto-ombra o del punto-luce non coincidono con quella del punto calcolato anche se si tiene conto del fenomeno della rifrazione e del diametro del Sole.

Lo spostamento fra i diversi punti è dovuto ovviamente alle differenze fra il valore vero δ_v nei giorni di osservazione (ad es. il 15 Agosto di anni successivi) e il valore δ_c usato nel calcolo.

In una meridiana orizzontale alle ore 12 di Tempo vero Locale si ha :

$$h_c = \text{altezza_calc_del_Sole} = 90^\circ - \varphi + \delta_c$$

$$h_v = \text{altezza_vera_del_Sole} =$$

$$= 90^\circ - \varphi + \delta_v = h_c + \varepsilon$$

con

$$\varepsilon = \delta_v - \delta_c = \text{errore_in_Decl}$$

Le distanze dei punti-ombra dal piede O dell'ortostilo, di lunghezza H, sono quindi :

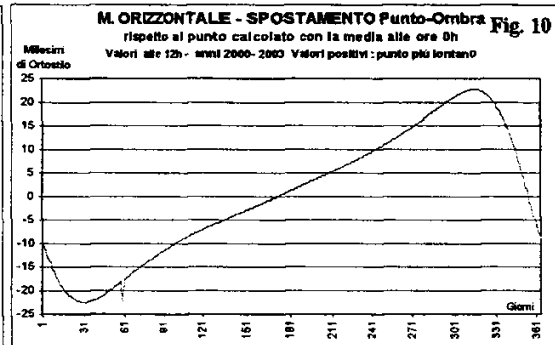
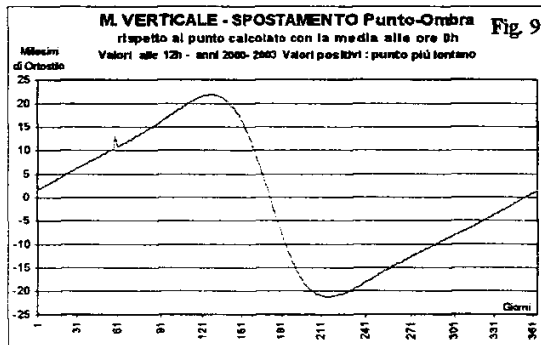
$$\overline{OP_v} = \frac{H}{\tan(h_v)} \quad \overline{OP_c} = \frac{H}{\tan(h_c)} \quad \text{e infine}$$

$$\text{Errore} = \overline{OP_v} - \overline{OP_c} = H \left\{ \frac{1}{\tan(h_v)} - \frac{1}{\tan(h_c)} \right\}$$

Esempio

Per $\varphi = 45^\circ$, nei giorni degli equinozi, se $\varepsilon = 20'$ si ottiene $P_v P_c = \text{errore} = 11.7 H/1000$. Quindi con $H = 1m$ l'errore è di 11.7 mm., con $H = 27m$ è di 31.2 cm (S. Petronio - BO)

Si può osservare che gli errori si annullano nei giorni dei Solstizi. Questo porta al risultato che l'estensione della linea meridiana, e quindi le dimensioni dell'orologio, non cambiano da un anno al successivo.



Nelle Fig.9 - 10 sono riportati gli spostamenti massimi del punto ombra vero, nei vari giorni dell'anno in 4 anni consecutivi, rispetto al punto calcolato, usando una media su 4 anni fatta alle ore 0h, in una meridiana Orizzontale e in una Verticale rivolta a Sud.

Istante di calcolo ore 12h. I valori sono in 1/1000 dell'altezza dello Ortostilo.

Come si vede gli errori hanno dei valori massimi di circa 25/1000 dell'Ortostilo.

Effetti sugli orologi solari

Effetto della variazione della Equazione del Tempo

Se consideriamo, in una meridiana Orizzontale, la curva a lemniscata delle ore 12h percorsa dall'ombra durante l'anno, abbiamo che i suoi punti non solo "si spostano" lungo la direzione Nord-Sud, rispetto alla curva calcolata,

a causa della variazione della declinazione, ma vengono a subire anche degli spostamenti nella direzione Est-Ovest a causa della variazione della Equazione del Tempo

Come si è già accennato l'ammontare di questi spostamenti del punto-ombra rispetto al punto in cui l'ombra dovrebbe cadere in base al calcolo, sono molto piccoli e si misurano in meno di 1/1000 dell'altezza dell'Ortostilo.

Ricordo a questo proposito che il punto infinitesimo che costituisce l'estremo dello gnomone produce, a causa del diametro finito del Sole, un'ombra circondata da una penombra avente il diametro, agli Equinozi per $\phi = 45^\circ$, di circa 13/1000 dell'altezza dello Ortostilo. Spostamenti così piccoli non hanno ovviamente nessun significato per orologi di dimensioni "normali" mentre occorrerebbe tenerne conto in sede di progetto e, in particolare, di verifica in meridiane di dimensioni "monumentali".

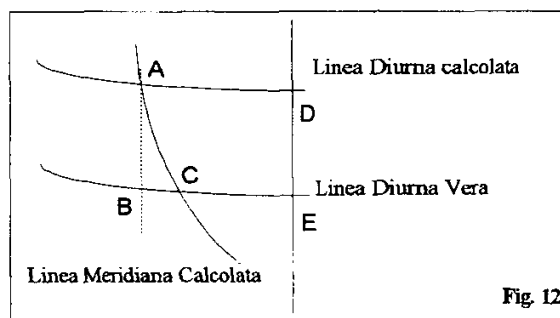
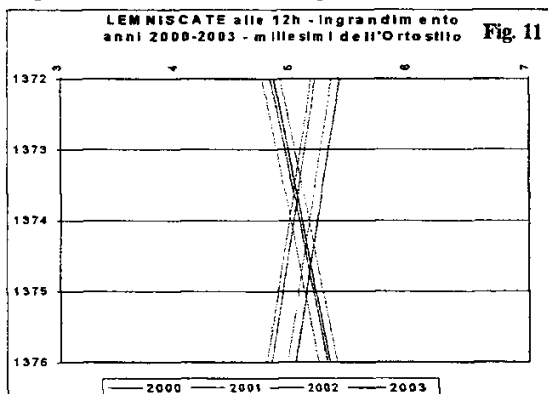
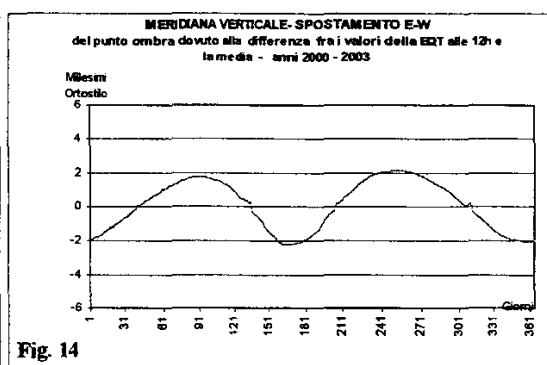
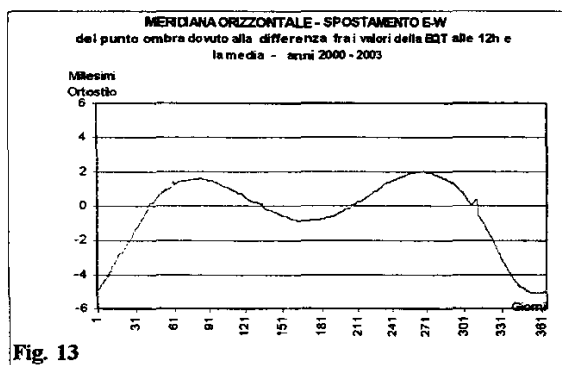


Fig. 12

La linea AC rappresenta una parte della lemniscata relativa alle ore 12h.

L'ora media 12h viene osservata quando il punto-ombra cade in C e quindi in un istante di tempo diverso da quello che si avrebbe se non vi fossero variazioni della declinazione rispetto al valore usato nei calcoli di progetto.

Il tratto AD rappresenta l'Equazione del Tempo calcolata. L'errore nel tempo di lettura è qualitativamente dato dal segmento BC.



Nelle figure sono riportati i grafici degli spostamenti massimi in direzione Est-Ovest, in una meridiana Orizzontale e in una Verticale dovuti alla variazione periodica della Equazione del Tempo. I valori danno le differenze fra le posizioni dei punti veri e di quelli calcolati con valori medi della EqT. Gli esempi si riferiscono a una località con $\phi=45^\circ$ alle ore 12h. I valori sono in 1/1000 della lunghezza dell'ortostilo

NOTA - Quando occorrono i valori esatti della declinazione del Sole o della Equazione del Tempo, ad esempio per determinare l'altezza esatta del Sole o la declinazione di un piano e l'istante esatto del passaggio del Sole al meridiano in un certo giorno, NON si possono usare i valori medi tabulati e validi per più anni ma occorre servirsi o di appositi programmi o delle tabelle pubblicate negli Annuari astronomici relativi all'anno in esame.

Ad es. si vuole ricavare l'istante del passaggio del Sole al meridiano nel giorno 1 Gennaio 2001. Da tabelle pubblicate si trovano per l'EqT i valori 3m 16s⁵, 3m 13s⁶, 3m 36s⁷ mentre il valore corretto, alle ore 12 locali, è di 3m 42s. Usando le tabelle si possono avere quindi errori sino a circa 1/2 minuto.⁸

Variazione degli istanti dell'alba e del tramonto - Effetto sugli orologi a ore antiche.

Gli istanti in cui il Sole sorge o tramonta sono influenzati sia dalle variazioni periodiche della declinazione del Sole sia da quelle della equazione del tempo.

Precisamente :

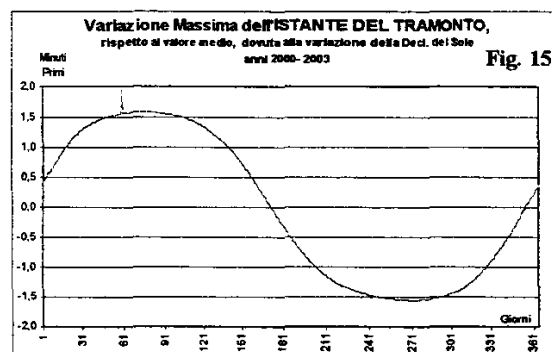
- se consideriamo il valore degli istanti in Tempo Vero Locale, cioè consideriamo l'angolo orario del Sole quando si trova all'orizzonte, la sola grandezza che influisce è la declinazione del Sole
- se invece consideriamo questi istanti espressi in Tempo medio (o nel comune tempo Civile) occorre considerare anche le variazioni della EqT.

Se teniamo conto soltanto della declinazione si hanno le relazioni :

$$\cos(\omega_v) = -\tan(\delta_v) \cdot \tan(\phi)$$

$$\cos(\omega_c) = -\tan(\delta_c) \cdot \tan(\phi) \text{ e infine}$$

$$\text{Variazione_ora_Tramonto} = (\omega_v - \omega_c) \cdot 4m$$



Il grafico dà l'errore massimo che si può commettere calcolando l'istante del tramonto con l'uso una tavola di valori medi della declinazione del Sole, fatta alle ore 0h su un periodo di 4 anni, rispetto ai valori veri di questi istanti.

L'errore massimo è inferiore a 1.5 minuti agli Equinozi e si annulla ai Solstizi.

Date dell'ingresso del Sole nei segni zodiacali

Come è ben noto gli istanti in cui il Sole entra nei diversi segni zodiacali sono quelli in cui la sua Longitudine eclitticale assume valori multipli di 30° .

Anche se oggi queste posizioni del Sole in cielo non corrispondono più, a causa della precessione degli Equinozi, all'entrata dell'astro nelle costellazioni, le diverse zone dell'eclittica sono ancora tradizionalmente indicate con il nome delle costellazioni che ad esse corrispondevano.

⁵ Rohr

⁶ Fantoni

⁷ Mayall&Mayall

⁸ L'errore che si avrebbe sull'orientamento di una parete o sulla direzione del Sud sarebbe sempre molto piccolo (dell'ordine di 1/4 di grado) e praticamente di nessuna importanza per le normali meridiane.

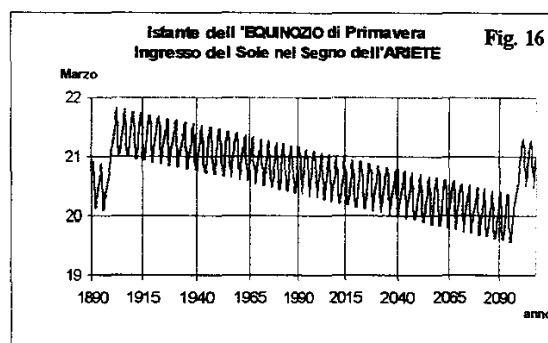
Per motivi astrologici o, quasi sempre, per motivi ornamentali ed estetici e per indicare il trascorrere delle stagioni, in molti orologi solari vengono ancora tracciate le curve diurne percorse dal Sole nei giorni del suo ingresso nei segni.

Essendo le "curve dei segni" delle normali curve diurne occorre, per poterne calcolare i punti, conoscere il valore della declinazione che il Sole ha nei giorni interessati.

I valori della Declinazione del Sole, che interessa nel calcolo delle curve dei segni, si può ricavare dalla relazione :

$$\sin(\delta) = \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\lambda) \quad \text{ove si sono}$$

indicate con ε l'obliquità della eclittica e con λ la longitudine del Sole. I valori della δ così ottenuti sono riportati nella Tabella II che segue.



Nel grafico di Fig.16 si vede come l'Equinozio di Primavera (ingresso del Sole in Ariete - Sole con Long. = 0°) possa avvenire nei giorni 19, 20 o 21 Marzo nel periodo 1900 - 2100

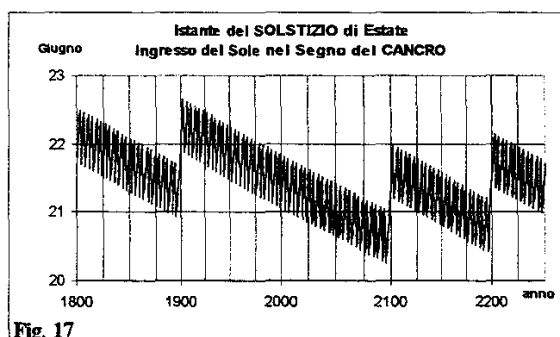


Fig. 17

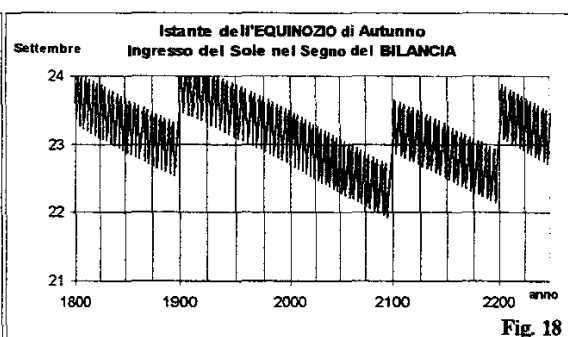


Fig. 18

Nelle Fig.17 - 18 sono riportati i grafici che danno gli istanti in cui il Sole entra nei segni del Cancro (Solstizio d'estate) e della Bilancia (Equinozio d'Autunno). Si può vedere che nel periodo 1800-2250 l'estate può iniziare nei giorni 20, 21 o 22 Giugno e l'Autunno nei giorni 21, 22, 23 o 24 Settembre.

Anche gli istanti dell'ingresso del Sole nei segni, dipendendo direttamente dalla Longitudine solare, hanno delle piccole variazioni annuali per cui, col trascorrere degli anni, tali istanti possono cadere in date diverse.

Se si vuole tracciare le linee dei segni e riportare su di esse una data occorre per prima cosa determinare in quale giorno "cade il segno".

Se si prevede un certo periodo di funzionamento dell'orologio solare occorrerà determinare in quali giorni può avvenire la circostanza cercata e scegliere di conseguenza: buona norma è quella di utilizzare il giorno che corrisponde alla data media del periodo interessato.

Vedi Tabelle II e III

Come si può osservare dalla Tabella III, nella letteratura si trovano date non corrette, per i prossimi anni, per l'inizio dei segni: Pesci, Ariete, Toro, Leone, Bilancia, Capricorno.

In particolare l'Equinozio di Primavera (segno dell'Ariete) si avrà il giorno 21 Marzo nel 2003 e nel 2006 e di nuovo soltanto nel 2102.

Si può altresì osservare che le date fornite nelle tabelle pubblicate sono in genere "più avanzate" di quelle medie calcolate nel periodo 2000-2047: questo è dovuto al fatto che l'anno secolare 2000 è stato bisestile.

Errori sulle linee dei segni zodiacali.

Dopo aver determinato la data di ingresso del Sole nel segno zodiacale che interessa occorre trovare il valore della declinazione δ del Sole da usare nel calcolo dei punti della linea diurna relativa.

Questo valore di δ è opportuno sia ricavato o calcolando la δ con la formula scritta in precedenza in funzione della Longitudine del Sole o leggendone direttamente il valore su una tabella come quella riportata in precedenza.

TABELLA II - Valori medi calcolati sul periodo di 48 anni 2000 - 2047 - Tempo Universale (Greenwich)

Segno		Inizio Segno T.U. Giorno Ora	Mese	Longit. del Sole °	Declinaz. del Sole °	Durata media del Segno in giorni	Date possibili nel periodo
Acquario	♒	20 05h 03m	Gennaio	300	-20.14910	29.5868	19 ; 20
Pesci	♓	18 19h 8m	Febbraio	330	-11.47265	29.7035	18 ; 19
Ariete	♈	20 12h 1m	Marzo	0	0.00000	30.4535	19; 20; 21
Toro	♉	19 22h 54m	Aprile	30	+11.46850	30.9590	19 ; 20
Gemelli	♊	20 21h 55m	Maggio	60	+20.14658	31.3285	20 ; 21
Cancro	♋	21 05h 48m	Giugno	90	+23.43628	31.4528	20 ; 21
Leone	♌	22 16h 40m	Luglio	120	+20.14910	31.2979	22 ; 23
Vergine	♍	22 23h 49m	Agosto	150	+11.47265	30.9069	22 ; 23
Bilancia	♎	22 21h 35m	Settembre	180	0.00000	30.3958	22 ; 23
Scorpione	♏	23 07h 5m	Ottobre	210	-11.46850	29.9042	22 ; 23
Sagittario	♐	22 04h 47m	Novembre	240	-20.14658	29.5597	21 ; 22
Capricorno	♑	21 18h 13m	Dicembre	270	-23.43628	29.4514	21 ; 22

Occorre osservare che le tabelle riportate nei testi, nei calendari e anche le date indicate dalla tradizione danno i giorni dell'ingresso del Sole nei segni con valori leggermente diversi. Le deviazioni standard sono: per l'istante di inizio circa $\pm 1h$ e per la Declinazione del Sole circa $\pm 0.0003^\circ$

TABELLA III - Date dell'ingresso del Sole nei segni - Tempo Medio Europa Centrale

Segno		Data Media Periodo 2000-2047	g. Num	g. Num	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Acquario	♒	20 Gennaio	II 19 12v	II 20 36v	20	20	20	20	21
Pesci	♓	18 Febbraio	II 18 32v	II 19 16v	19	19	18	19	20
Ariete	♈	20 Marzo	II 20 45v	II 21 3v	21	20	20	21	21
Toro	♉	19 Aprile	II 19 24v	II 20 24v	20	20	20	20	21
Gemelli	♊	20 Maggio	II 20 27v	II 21 21v	21	21	21	21	22
Cancro	♋	21 Giugno	II 20 09v	II 21 39v	21	21	21	21	22
Leone	♌	22 Luglio	II 22 37v	II 23 11v	23	23	23	23	23
Vergine	♍	23 Agosto	II 22 22v	II 23 26v	23	23	23	23	24
Bilancia	♎	22 Settembre	II 22 28v	II 23 20v	23	23	23	23	24
Scorpione	♏	23 Ottobre	II 22 7v	II 23 41v	24	23	23	23	24
Sagittario	♐	22 Novembre	II 21 12v	II 22 36v	22	22	22	22	23
Capricorno	♑	21 Dicembre	II 21 33v	II 22 15v	22	22	21	22	22

*Nella 4' e 5' colonna sono riportati i numeri degli anni, del periodo 2000-2047, in cui il Sole entra nel segno nel giorno indicato (ad es. il 19 15v significa che l'evento avverrà il giorno 19 in 15 volte su 48)
I valori riportati nelle ultime colonne sono quelli pubblicati in diversi volumi, italiani o stranieri, attualmente in commercio*

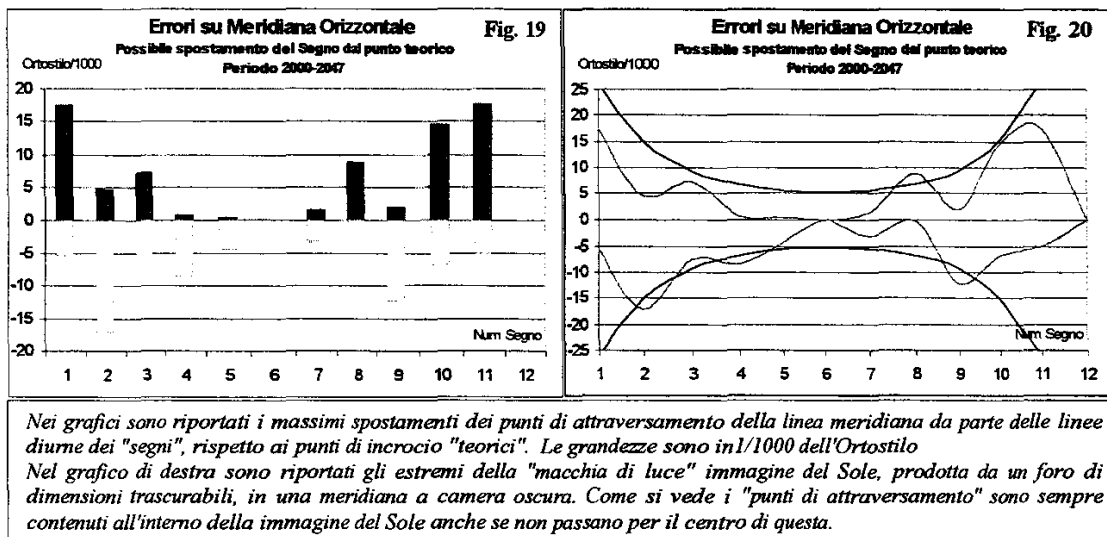
Per effetto della lentissima variazione della obliquità dell'eclittica, i valori della declinazione del sole negli istanti del suo ingresso nei segni, e quindi quando la longitudine è uguale a un multiplo di 30° , cambiano di solo pochi secondi in un arco di tempo di 50 o più anni. Per questo motivo si possono tranquillamente utilizzare valori riportati anche in libri pubblicati da tempo

Vediamo di valutare le differenze che si possono avere tra il percorso effettivo dell'ombra dell'estremo dello Gnomone e le linee dei segni tracciate sul quadrante.

Queste differenze sono dovute al fatto che il valore della δ del Sole utilizzato per il calcolo e il tracciamento della linea diurna è quello che il Sole ha nell'istante in cui esso entra effettivamente nel segno scelto.

Questo istante varia da un anno al successivo e non coincide, in genere, con l'istante in cui si osserva il

quadrante che prenderò coincidente con le ore 12h del giorno che viene indicato sulla linea diurna stessa.



Cerco di spiegarmi con un esempio.

La linea diurna dell'Equinozio di Primavera (retta Equinoziale) è la curva che si ottiene supponendo, nel calcolo, la $\delta=0$.

Nel periodo dal 2000 al 2047 l'Equinozio può avvenire nel periodo compreso fra l'istante 19 Marzo 23h 32m e l'istante 21 Marzo 1h 2m, muovendosi quindi in un intervallo di ben 25h 30m.

Se osserviamo l'ombra dell'estremo dello gnomone il giorno 20 Marzo alle ore 12h, possono essere trascorse 12h 28m dall'istante dell'Equinozio oppure questo può aversi fra 13h 2m.

La declinazione del Sole non sarà quindi nulla ma potrà avere un valore compreso fra $-13'$ e $+12.3'$ (circa)

In una meridiana orizzontale, per una località con $\varphi=45^\circ$, la distanza del punto ombra dal piede dell'ortostilo alle ore 12h di TVL può quindi variare da 992.8 a 1007.5 millesimi dell'altezza dell'ortostilo stesso.

Con un ortostilo di 1m quindi la intersezione della linea diurna del 20 Marzo si può spostare di circa 14.7 mm (circa $\pm 7-8$ mm) rispetto alla linea calcolata e disegnata (il fatto che lo "spostamento" sia quasi simmetrico dipende dal fatto che, nel periodo scelto, l'Equinozio medio avviene quasi esattamente al mezzogiorno)

Come si vede l'errore è del tutto trascurabile con quadranti aventi dimensioni non eccessive.

Ripetendo il calcolo per l'Equinozio di Autunno si trova, nella stessa meridiana, che la distanza del punto ombra dal piede dell'ortostilo alle ore 12h di TVL del 22 Settembre può variare da 998.1a 1012.5 millesimi dell'altezza dell'ortostilo.

Con un ortostilo di 1m quindi la intersezione della linea diurna del 22 Settembre si può spostare di circa 14.4 mm attorno al valore calcolato e disegnato.

Se l'osservazione è fatta invece il 23 Settembre l'intersezione può distare dal piede dell'ortostilo da 984.4 a 998.6 millesimi

Si ha quindi che le curve diurne nei giorni degli equinozi non coincidono con la retta equinoziale teorica ma passano, senza coincidere, in un intorno di essa.

Come si è detto questo effetto, trascurabile nelle meridiane di dimensioni modeste risulta abbastanza evidente nelle meridiane monumentali.

Variazioni secolari

Oltre alle variazioni della posizione del Sole dovute al nostro calendario, quindi prodotte da una nostra convenzione, vi sono alcune grandezze astronomiche che hanno lentissimi cambiamenti, detti secolari, che possono influire in piccolissima misura sugli orologi solari.

Ovviamente, e il termine secolare ce lo indica, questi cambiamenti debbono essere tenuti in conto soltanto nello studio degli orologi solari del passato lontano, cioè costruiti almeno qualche secolo fa.

Le grandezze che prenderò in considerazione sono :

- l'obliquità dell'Eclittica
- la precessione degli equinozi
- lo spostamento del perielio dell'orbita della Terra.

Obliquità dell'Eclittica

L'obliquità dell'Eclittica ε è l'angolo compreso fra il piano dell'Equatore Celeste e quello dell'Eclittica ed è anche uguale al complemento della inclinazione dell'asse di rotazione della Terra sul piano della sua orbita.

Il valore della obliquità diminuisce di circa 47" al secolo secondo la relazione approssimata:

$\varepsilon = 23^\circ 26' 21.4448'' - 46.815'' \cdot T$ dove con T si intende il tempo trascorso dall'inizio dell'anno 2000, espresso in secoli giuliani di 36525 giorni.

Dato che il valore della obliquità dell'Eclittica influenza la declinazione del Sole, i cui massimi e minimi sono uguali a ε , nella verifica di antichi orologi solari è opportuno utilizzare nei calcoli il valore di ε dell'epoca in cui l'orologio fu costruito. Una tale precisione è necessaria ovviamente soltanto nel caso di grandi meridiane (ad es. quelle nelle chiese) in cui anche piccole variazioni di δ possono dare spostamenti apprezzabili.

Ad es. all'inizio dell'anno 2000 si ha $\varepsilon = 23.4392911^\circ$ mentre nel 1650 valeva $\varepsilon = 23.484782^\circ$ con una differenza di 2.7'.

Se consideriamo una località con Latitudine = 44.5° e una meridiana con un ortostilo avente la lunghezza di 27m (all'incirca i valori della grande meridiana del Cassini in S. Petronio a Bologna) si può facilmente trovare che la distanza del punto del Solstizio Estivo dal piede dell'ortostilo era = 10.372m nel 1650 mentre quella che potremmo misurare oggi vale 10.397m: la differenza è di circa 2.5cm. Al Solstizio Invernale le analoghe distanze risultano 66.776m nel 1650 e 66.624m oggi con una differenza di 15.2cm. Possiamo quindi dire che l'estensione della linea meridiana si è ridotta in 350 anni di circa 17.7cm (circa lo 0.31%)⁹

La variazione della ε influenza anche le durate del giorno-chiaro e della notte ma anche tale influenza è molto modesta. Ad es. nel 300 a.C. ad Atene il giorno del Solstizio estivo era più lungo di 138 sec rispetto al valore attuale. Alle nostre latitudini (circa 45°) la differenza era di circa 186 sec.

Alcuni studiosi hanno cercato di datare antichi orologi solari greci, romani, arabi, ricavando, da misure fatte sui reperti, il valore della obliquità dell'eclittica ε utilizzato nella costruzione dell'orologio e, in seguito, usando tale valore, l'anno in cui gli oggetti erano stati costruiti¹⁰.

Il metodo è completamente privo di fondamento sia per le piccole dimensioni degli oggetti rinvenuti, sia per le imprecisioni delle misure possibili, sia per la grossolanità

delle incisioni (su pietra), sia per il fatto che gli antichi conoscevano con scarsa precisione i valori della latitudine dei luoghi e il valore usato per la ε era abbastanza approssimato^{11 12}

La precessione degli equinozi.

La precessione degli Equinozi è dovuta alla attrazione del rigonfiamento equatoriale della Terra da parte della Luna e produce una rotazione del Polo Celeste attorno al polo dell'Eclittica in un periodo di circa 26000 anni. L'effetto principale della precessione è quello di "spostare" il punto Vernale (inizio della primavera) di circa $46.1''$ all'anno e quindi di cambiare la longitudine celeste degli astri della stessa quantità e di spostare gli istanti di inizio delle stagioni.

Anche se, a causa della precessione, cambiano le costellazioni dove si trova il Sole quando ha valori particolari di longitudine celeste, gli istanti in cui si hanno gli Equinozi e i Solstizi e, in generale, gli istanti in cui il Sole "entra" nei segni zodiacali, non cambiano in riferimento ad es. all'inizio della primavera.

Per questo motivo il fenomeno della precessione non produce nessun effetto sugli orologi solari.

Lo spostamento del punto Vernale lungo l'orbita della Terra modifica l'intervallo di tempo che intercorre fra il passaggio della Terra al perielio e l'istante dell'Equinozio di Primavera: come vedremo questo porta a una leggera variazione della forma e dei valori estremi della Equazione del Tempo.

Lo spostamento del perielio dell'orbita terrestre.

La posizione del perielio della Terra sulla sua orbita è individuata dall'angolo compreso fra i raggi che vanno dal Sole al perielio e dal Sole al punto Vernale.

Questo angolo, indicato col nome di Longitudine del perielio (L_p), varia lentamente aumentando di circa 1.72° al secolo.

Per questo motivo l'istante in cui la Terra passa nel punto della sua orbita più vicino al Sole "avanza" di circa 1.7 giorni al secolo.

Ad es. nell'anno 2000 la $L_p = 272.94^\circ$ e la Terra passa al perielio il 4 gennaio; nell'anno 1000 invece $L_p = 264.07^\circ$ e la Terra passò al perielio circa 17 giorni prima (il 12 Dicembre secondo il calendario giuliano).

L'istante in cui la Terra passa al perielio si "avvicina" quindi a quello dell'Equinozio di primavera:

nel 2000 fra i due istanti intercorrono 76-77 giorni (77.1°) mentre nel 3000 ve ne saranno soltanto 59-60 (61.5°)

⁹ Per rendersi meglio conto della entità veramente piccola di questi cambiamenti è opportuno ricordare che le dimensioni dell'immagine del Sole ai Solstizi risultano, nella meridiana dell'esempio, di 27x29cm e 67x179cm (agli Equinozi l'immagine è di 35x50 cm circa)

¹⁰ Il valore della ε nel 300 a.C. (epoca Alessandrina - inizio della progettazione "scientifica" degli orologi solari) era $23^\circ 43' 54''$ quindi circa $17' 33''$ maggiore del valore attuale.

¹¹ Vitruvio per indicare la Latitudine riporta la lunghezza dell'ombra orizzontale di uno gnomone verticale nel giorno dell'Equinozio. Così indica per Roma la lunghezza di 8/9 (corrispondente a una Lat. = $44^\circ 38'$), per Taranto una lung. = 9/11 ecc.

¹² Vitruvio usa per ε il valore $1/15$ di circonferenza = 24°

Questo fenomeno influenza l'andamento della Equazione del Tempo che, a causa di esso, cambia forma e valori estremi.

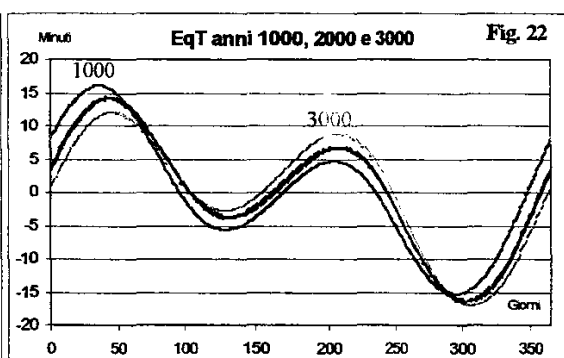
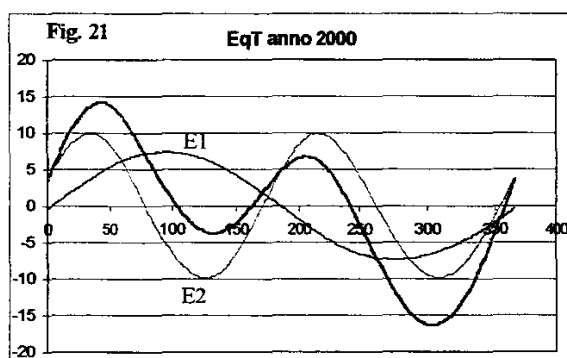
Il valore della Equazione del Tempo è infatti dato dalla somma di due termini principali :

- il termine E1 che dipende dalla eccentricità dell'orbita della Terra e dalla posizione dell'asse maggiore dell'orbita stessa. Questo termine ha un andamento periodico con una ampiezza di circa 7.5 minuti (di tempo) con un periodo uguale a un anno anomalistico; si annulla negli istanti del passaggio della Terra all'afelio e al perielio (estremi dell'asse maggiore dell'orbita)
- il termine E2 che dipende dalla obliquità dell'Eclittica; ha un andamento periodico con periodo

uguale a 1/2 anno tropico; una ampiezza di circa 10 minuti e si annulla negli istanti degli Equinozi e dei Solstizi

Se l'intervallo di tempo fra il passaggio al perielio e l'Equinozio diminuisce ne consegue che le due curve che rappresentano gli andamenti E1 ed E2 traslano una rispetto all'altra e la loro somma assume un andamento diverso sia nella posizione (istanti dei massimi e minimi) sia nei valori estremi.

Anche questa variazione è praticamente ininfluenza nello studio delle meridiane antiche sia per la loro scarsa precisione sia per il fatto che si è iniziato a tenere conto della Equazione del Tempo soltanto negli ultimi due secoli.



Nella Fig. 21 sono rappresentati gli andamenti durante l'anno dei termini E1 e E2 la cui somma dà l'andamento della equazione del Tempo.

Nella Fig. 22 sono rappresentati gli andamenti della Equazione del tempo in anni molto lontani.

Si può facilmente notare che nell'anno 1000 il primo massimo era superiore a 15 min e l'ultimo minimo circa uguale a -15 minuti. Nell'anno 2000 il primo massimo avviene più tardi e non raggiunge i 15 min mentre l'ultimo minimo è inferiore a -15 min. Nell'anno 1246 la curva della EqT era perfettamente simmetrica con i minimi di valore assoluto uguali ai massimi. Infatti in quell'anno la Longitudine del perielio valeva 270° e quindi il perielio distava esattamente 90° dal punto Vernale (Equinozio di primavera). I massimi della curva E1 coincidevano quindi con i punti in cui la E2 passava per lo zero.

CONCLUSIONI

Le conclusioni che si possono trarre dagli argomenti svolti sono essenzialmente tre :

- per il calcolo di orologi solari è opportuno utilizzare tabelle di valori medi fatti su periodi di tempo da 4 a circa 48 anni, partendo da valori calcolati alle ore 12 di tempo locale
- i fenomeni considerati provocano variazioni delle grandezze che sono tutte molto piccole e praticamente trascurabili nel progetto e nella verifica di orologi solari di normali dimensioni
- gli unici orologi solari che possono indicare il tempo con grande precisione, almeno teoricamente prescindendo da errori nel tracciamento, sono quelli che utilizzano l'angolo orario, cioè quelli a tempo vero con gnomone polare

Tutti gli altri orologi solari che utilizzano come elemento indicatore un punto, un nodo, un ortostilo, ecc., non possono neppure in teoria, indicare il tempo correttamente anche se gli errori che risultano possono essere ridotti a valori molto piccoli e del tutto trascurabili nell'uso comune.

Sono pertanto inutili e privi di fondamento gli sforzi fatti da alcuni nello studiare tipi di orologio, di gnomone, di disposizione delle linee, ecc. nel tentativo di realizzare orologi solari che indichino il tempo con la massima esattezza.

Analoga conclusione si può trarre relativamente all'uso calendariale degli orologi solari e alla ricerca di orologi che indichino esattamente il giorno dell'anno o particolari date.

Declinazione del Sole												
Valore della Declinazione media del Sole nei giorni dell'anno (gradi e decimali)												
Media dei valori veri degli anni 2000 - 2047 Istante di calcolo ore 12h TMEC = 11h TU												
Giorno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	-22,99	-17,07	-7,45	4,68	15,19	22,10	23,08	17,92	8,14	-3,33	-14,54	-21,85
2	-22,90	-16,78	-7,07	5,07	15,49	22,23	23,00	17,66	7,78	-3,72	-14,86	-22,00
3	-22,81	-16,49	-6,68	5,45	15,78	22,36	22,93	17,40	7,41	-4,10	-15,17	-22,14
4	-22,71	-16,19	-6,30	5,83	16,07	22,47	22,84	17,14	7,04	-4,49	-15,48	-22,28
5	-22,60	-15,89	-5,91	6,21	16,36	22,58	22,75	16,87	6,67	-4,87	-15,78	-22,41
6	-22,48	-15,58	-5,52	6,59	16,64	22,69	22,65	16,59	6,30	-5,26	-16,08	-22,53
7	-22,35	-15,27	-5,14	6,97	16,92	22,78	22,54	16,31	5,93	-5,64	-16,38	-22,64
8	-22,22	-14,95	-4,75	7,34	17,19	22,88	22,43	16,03	5,55	-6,02	-16,67	-22,75
9	-22,08	-14,63	-4,35	7,71	17,45	22,96	22,31	15,74	5,17	-6,40	-16,96	-22,85
10	-21,94	-14,31	-3,96	8,08	17,72	23,04	22,18	15,45	4,79	-6,78	-17,24	-22,94
11	-21,78	-13,98	-3,57	8,45	17,97	23,11	22,05	15,15	4,41	-7,16	-17,52	-23,02
12	-21,62	-13,65	-3,18	8,82	18,23	23,17	21,91	14,85	4,03	-7,53	-17,79	-23,10
13	-21,45	-13,32	-2,78	9,18	18,47	23,23	21,77	14,55	3,65	-7,91	-18,05	-23,17
14	-21,28	-12,98	-2,39	9,54	18,72	23,28	21,62	14,24	3,27	-8,28	-18,31	-23,23
15	-21,10	-12,64	-1,99	9,90	18,95	23,32	21,46	13,93	2,88	-8,65	-18,57	-23,28
16	-20,91	-12,29	-1,60	10,25	19,18	23,36	21,30	13,61	2,50	-9,02	-18,82	-23,33
17	-20,72	-11,94	-1,20	10,60	19,41	23,39	21,13	13,30	2,11	-9,38	-19,07	-23,36
18	-20,52	-11,59	-0,81	10,95	19,63	23,41	20,95	12,97	1,72	-9,75	-19,30	-23,39
19	-20,31	-11,24	-0,41	11,30	19,84	23,42	20,77	12,65	1,34	-10,11	-19,54	-23,42
20	-20,09	-10,88	-0,02	11,64	20,05	23,43	20,59	12,32	0,95	-10,47	-19,77	-23,43
21	-19,87	-10,52	0,38	11,98	20,26	23,44	20,39	11,99	0,56	-10,82	-19,99	-23,44
22	-19,65	-10,15	0,77	12,32	20,46	23,43	20,20	11,65	0,17	-11,18	-20,20	-23,43
23	-19,41	-9,79	1,17	12,65	20,65	23,42	19,99	11,31	-0,22	-11,53	-20,41	-23,42
24	-19,18	-9,42	1,56	12,98	20,83	23,40	19,78	10,97	-0,61	-11,88	-20,61	-23,41
25	-18,93	-9,05	1,95	13,31	21,01	23,37	19,57	10,63	-1,00	-12,22	-20,81	-23,38
26	-18,68	-8,67	2,35	13,63	21,19	23,34	19,35	10,28	-1,39	-12,56	-21,00	-23,35
27	-18,43	-8,30	2,74	13,95	21,36	23,30	19,12	9,93	-1,77	-12,90	-21,19	-23,31
28	-18,16	-7,92	3,13	14,27	21,52	23,26	18,89	9,58	-2,16	-13,24	-21,36	-23,26
29	-17,90		3,52	14,58	21,67	23,20	18,66	9,22	-2,55	-13,57	-21,53	-23,20
30	-17,63		3,91	14,88	21,82	23,14	18,41	8,86	-2,94	-13,90	-21,70	-23,14
31	-17,35		4,30		21,96		18,17	8,50		-14,22		-23,07

Equazione del Tempo (media) in minuti Equazione del Tempo cambiata di segno = Tempo Medio Locale - Tempo Vero Locale Per ottenere il Tempo Medio Locale sommare all'ora segnata dalla Meridiana (Tempo Vero Locale) il valore dato in tabella in minuti e decimali Media calcolata dai valori veri negli anni 2000 - 2047 Istante di calcolo ore 12h TMEC = 11h TU												
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Giorno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	3,50	13,55	12,31	3,85	-2,89	-2,11	3,93	6,36	-0,01	-10,36	-16,40	-10,93
2	3,97	13,68	12,11	3,56	-3,00	-1,96	4,12	6,29	-0,33	-10,67	-16,42	-10,55
3	4,43	13,79	11,90	3,26	-3,11	-1,79	4,30	6,21	-0,65	-10,99	-16,42	-10,16
4	4,89	13,89	11,69	2,97	-3,20	-1,62	4,48	6,12	-0,98	-11,30	-16,41	-9,76
5	5,34	13,98	11,46	2,69	-3,29	-1,45	4,66	6,03	-1,32	-11,60	-16,39	-9,35
6	5,78	14,05	11,23	2,40	-3,36	-1,27	4,83	5,92	-1,66	-11,90	-16,35	-8,93
7	6,22	14,11	11,00	2,12	-3,43	-1,08	4,99	5,80	-2,00	-12,19	-16,30	-8,50
8	6,64	14,15	10,75	1,84	-3,49	-0,89	5,14	5,67	-2,34	-12,47	-16,24	-8,07
9	7,06	14,19	10,50	1,57	-3,54	-0,69	5,29	5,53	-2,69	-12,74	-16,16	-7,62
10	7,47	14,21	10,25	1,30	-3,57	-0,49	5,43	5,38	-3,04	-13,01	-16,06	-7,17
11	7,87	14,21	9,99	1,04	-3,60	-0,29	5,57	5,22	-3,39	-13,27	-15,95	-6,72
12	8,26	14,21	9,72	0,78	-3,62	-0,09	5,70	5,05	-3,74	-13,52	-15,83	-6,25
13	8,64	14,19	9,45	0,52	-3,63	0,12	5,82	4,87	-4,10	-13,77	-15,70	-5,78
14	9,01	14,16	9,18	0,28	-3,63	0,33	5,93	4,69	-4,45	-14,00	-15,55	-5,31
15	9,36	14,12	8,90	0,03	-3,62	0,55	6,03	4,49	-4,81	-14,23	-15,38	-4,83
16	9,71	14,06	8,61	-0,20	-3,60	0,76	6,13	4,29	-5,17	-14,44	-15,20	-4,34
17	10,04	14,00	8,33	-0,44	-3,57	0,98	6,21	4,08	-5,52	-14,65	-15,01	-3,85
18	10,37	13,92	8,04	-0,66	-3,54	1,20	6,29	3,86	-5,88	-14,85	-14,81	-3,36
19	10,68	13,83	7,75	-0,88	-3,49	1,41	6,36	3,63	-6,24	-15,03	-14,59	-2,87
20	10,98	13,73	7,45	-1,09	-3,43	1,63	6,42	3,39	-6,59	-15,21	-14,35	-2,38
21	11,26	13,62	7,15	-1,29	-3,37	1,85	6,47	3,14	-6,95	-15,37	-14,10	-1,88
22	11,54	13,49	6,86	-1,49	-3,30	2,07	6,51	2,89	-7,30	-15,53	-13,84	-1,38
23	11,80	13,36	6,56	-1,68	-3,21	2,28	6,54	2,63	-7,65	-15,67	-13,57	-0,88
24	12,05	13,22	6,26	-1,86	-3,12	2,50	6,56	2,36	-8,00	-15,80	-13,28	-0,39
25	12,28	13,06	5,95	-2,03	-3,02	2,71	6,57	2,09	-8,35	-15,92	-12,98	0,11
26	12,50	12,90	5,65	-2,19	-2,92	2,92	6,57	1,81	-8,69	-16,03	-12,67	0,60
27	12,71	12,73	5,35	-2,35	-2,80	3,13	6,56	1,52	-9,03	-16,12	-12,35	1,10
28	12,91	12,55	5,05	-2,50	-2,68	3,33	6,54	1,23	-9,37	-16,20	-12,01	1,58
29	13,09		4,75	-2,64	-2,55	3,54	6,51	0,93	-9,70	-16,27	-11,66	2,07
30	13,25		4,45	-2,77	-2,41	3,73	6,47	0,62	-10,03	-16,33	-11,30	2,55
31	13,41		4,15		-2,27		6,42	0,31		-16,37		3,03

ESTRATTO

Nella relazione viene affrontato lo studio ottico geometrico un sistema di più lenti sottili e la possibilità di utilizzarlo come punto gnomonico in un orologio solare. Lo studio prende lo spunto dalla recente realizzazione, da parte dei dott. Catamo e Lucarini, di una meridiana presso l'Università "La Sapienza" di Roma utilizzando questo sistema ottico per intensificare l'immagine sul quadrante. In appendice si riporta uno studio matematico sulla immagine luminosa prodotta da un foro circolare.

PREMESSA

Quasi un anno fa è stata inaugurata, presso la Facoltà di Farmacia della Università "La Sapienza" di Roma, una linea meridiana realizzata su una vetrata della Facoltà e osservabile per trasparenza dall'atrio della stessa.

I dott. Catamo e Lucarini, spinti dalla necessità di avere una immagine molto luminosa da poter essere visibile in pieno giorno in un ambiente intensamente illuminato, hanno ideato, per la prima volta, un sistema ottico a più focali costituito da più lenti sottili concentriche.

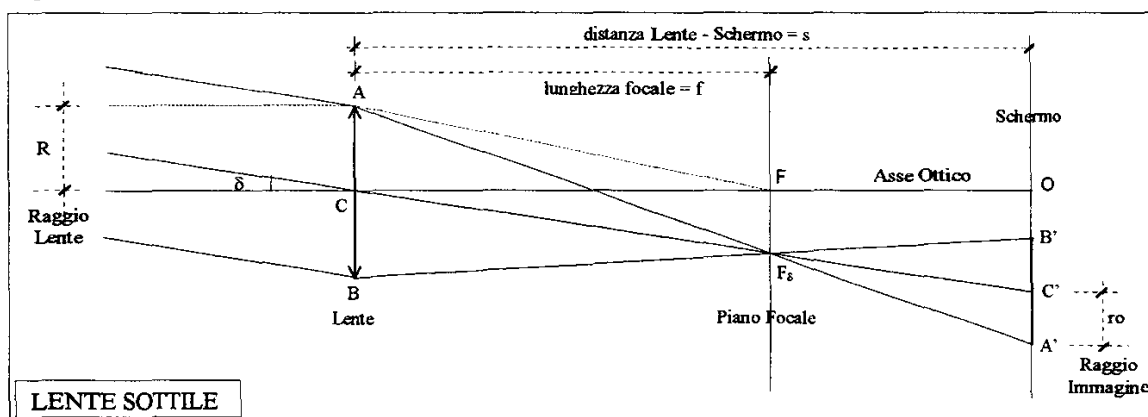
Il sistema, se pur realizzato in assenza di qualunque precedente esperienza in materia, si è rivelato efficace e preciso come ha dimostrato una attenta osservazione continuata per quasi un anno.

Il presente studio è nato dopo questo successo con lo scopo di verificare a posteriori anche analiticamente le potenzialità offerte da questo nuovo tipo di "gnomone" e di fornire un aiuto a coloro che vorranno in futuro cimentarsi con analoghi dispositivi indicatori.

TEORIA DELLE LENTI SOTTILI - CENNI

1. Data una lente sottile convergente, biconvessa o piano-convessa, si chiama asse ottico la retta passante o per il centro delle due superfici sferiche o piana delimitanti la lente.

2. I raggi luminosi appartenenti a un fascio di raggi paralleli all'asse ottico sono rifratti dalla lente e si incontrano tutti in punto F detto fuoco appartenente all'asse ottico.
3. Si chiama distanza focale f della lente la distanza compresa fra il fuoco F e il centro C della lente.
4. Si chiama piano focale il piano perpendicolare all'asse ottico e passante per il fuoco F e quindi distante f dal piano della lente.
5. Un raggio passante per il centro C della lente non viene deviato o rifratto.
6. I raggi appartenenti a un fascio di raggi paralleli, inclinati dell'angolo δ rispetto all'asse ottico, si incontrano in un punto F_δ che appartiene al piano focale. F_δ coincide con il punto ove il raggio appartenente al fascio e passante per il centro della lente, interseca il piano focale.
7. La sezione del pennello conico in cui viene rifratto il fascio di raggi provenienti dalla sorgente, fatta con un piano parallelo alla lente (schermo), cioè l'immagine formata dalla lente su questo piano, ha la forma della lente: ha quindi la forma di un cerchio se la lente è circolare.



In conclusione si ha che l'immagine prodotta da un fascio di raggi paralleli, provenienti da una sorgente luminosa puntiforme posta a distanza infinita, su uno schermo parallelo al piano focale è un cerchio avente centro nel punto C' e raggio r_0 (v. fig.)

Questa immagine si riduce a un punto se lo schermo coincide con il piano focale, cioè se è posto a una distanza dalla lente uguale a f.

Ponendo:

- R = raggio utile della lente - cm
f = lunghezza focale della lente - cm
s = distanza fra lente e piano su cui si forma l'immagine (piano Schermo) - cm

- δ = angolo fra i raggi del fascio e l'asse ottico - gradi
 r_0 = raggio immagine - cm
si ha:

$$\overline{FF_\delta} = f \cdot \tan(\delta)$$

$$f_\delta = \overline{CF_\delta} = \frac{f}{\cos(\delta)}$$

$$\overline{OC'} = s \cdot \tan(\delta)$$

$$r_0 = R \cdot \frac{|s - f|}{f}$$

lente sottile su uno schermo.

Poniamo il diametro angolare del Sole = 2ε con $\varepsilon = 16'$
 $= 1/214.86$ radianti



solari, si ha che l'illuminamento dell'immagine, supposto uniforme, è dato da :

$$J = J_0 \cdot \left(\frac{R}{r} \right)^2 = J_0 \cdot \frac{R^2}{(r_0 + r\varepsilon)^2}$$

L'illuminamento della immagine non è però uniforme ma diminuisce dal valore costante e massimo nella zona centrale al valore 0 all'esterno. La fascia in cui l'illuminamento diminuisce è la corona esterna di larghezza $= 2r_e$. Una formula più corretta per l'illuminamento medio della zona centrale della macchia è la seguente:

$$J = J_0 \cdot \frac{R^2}{r_0^2 + r_{\varepsilon}^2}$$

Schermo inclinato

Il raggio r che si è ottenuto e quello dell'immagine che la lente produce su un piano parallelo al piano focale o al piano della lente. L'immagine prodotta su uno schermo normale al raggio non rifratto $C F \delta C'$ è una ellisse i cui assi sono dati, con una buona approssimazione se il cono di raggi ha piccola apertura, da :

$$\Phi_1 = r, \quad \Phi_2 \cong r \cdot \cos(\delta)$$

Se indichiamo con J_0 l'illuminamento (energia luminosa per unità di superficie) su un piano normale ai raggi

¹ Gli errori dovuti alle approssimazioni su OC' e su r sono rispettivamente inferiori allo 0.003% e allo 0.0005% se $\delta < 25^\circ$

Se lo schermo è invece inclinato di un angolo β rispetto al piano normale di cui sopra, gli assi della ellisse immagine sono

$$\text{dati da: } \Phi_1 = r \quad \text{e} \quad \Phi_2 \cong r \cdot \frac{\cos(\delta)}{\cos(\beta)}$$

In questo caso l'illuminamento della immagine ellittica vale²

$$J = J_0 \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \frac{\cos(\beta)}{\cos(\delta)}$$

Immagine del Sole prodotta da una lente sottile a forma di corona circolare

Consideriamo una lente sottile di raggio R_e e supponiamo di asportarne la zona circolare interna di raggio R_i : otteniamo una lente a forma di anello o di corona circolare.

L'immagine di una sorgente puntiforme che questa lente produce su uno schermo ha anch'essa la forma di una corona circolare di raggi:

$$r_{eo} = R_e \cdot \frac{|s-f|}{f}$$

$$r_{io} = R_i \cdot \frac{|s-f|}{f}$$

L'immagine del Sole invece può avere o la forma di corona circolare o la forma di un cerchio. Ponendo:

$$r_e = R_e \cdot \frac{|s-f|}{f} + s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)}$$

$$r_i = R_i \cdot \frac{|s-f|}{f} - s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)}$$

- se risulta $r_i > 0$ allora l'immagine ha la forma di un anello di raggi r_i ed r_e
- se risulta $r_i \leq 0$ allora l'immagine ha la forma di un cerchio di raggio r_e

L'immagine del Sole invece può avere o la forma di corona circolare o la forma di un cerchio. Ponendo:

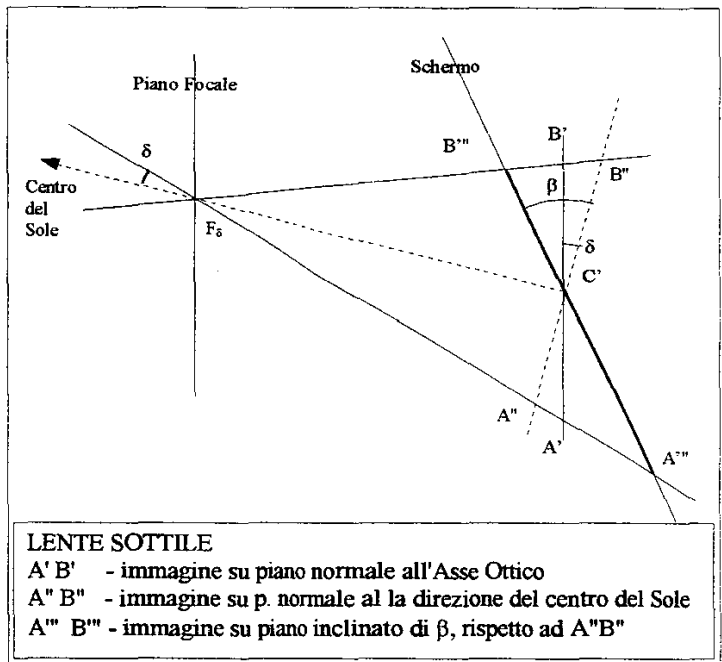
$$r_e = R_e \cdot \frac{|s-f|}{f} + s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)}$$

$$r_i = R_i \cdot \frac{|s-f|}{f} - s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)}$$

- se risulta $r_i > 0$ allora l'immagine ha la forma di un anello di raggi r_i ed r_e
- se risulta $r_i \leq 0$ allora l'immagine ha la forma di un cerchio di raggio r_e

Illuminamento dell'immagine. Lente anulare

Se supponiamo uniforme l'illuminamento della immagine, l'illuminamento dell'immagine è dato da:



LENTE SOTTILE

A' B' - immagine su piano normale all'Asse Ottico

A'' B'' - immagine su p. normale alla direzione del centro del Sole

A''' B''' - immagine su piano inclinato di β , rispetto ad A''B''

a) $J = J_0 \cdot \frac{R_e^2 - R_i^2}{r_e^2 - r_i^2}$ illuminamento medio della figura ad anello

b) $J = J_0 \cdot \frac{R_e^2 - R_i^2}{r_e^2}$ illuminamento medio della immagine circolare

SISTEMA OTTICO COMPOSTO DA PIU' LENTI SOTTILI AFFIANCATE.

Consideriamo un sistema di più lenti sottili, aventi focali e diametri diversi, fra loro affiancate.

Il sistema, se i diametri sono abbastanza maggiori degli spessori delle lenti, si può ancora studiare usando la teoria delle lenti sottili.

Se indichiamo con f_{jv} la focale - vera - della lente j-ma misurata in metri e con C_j la sua "concentrazione" in

diottrie si ha: $C_j = \frac{1}{f_{jv}}$

Se indichiamo poi con f_j la focale - equivalente - della lente composta avente raggio esterno R_j si ha:

$$\frac{1}{f_1} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\frac{1}{f_2} = C_2 + C_3 \quad \frac{1}{f_3} = C_3$$

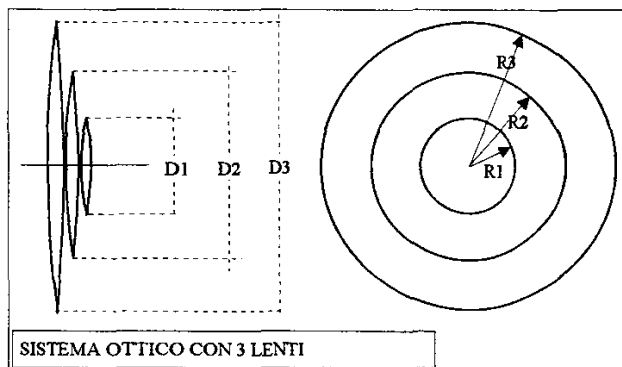
Il sistema si comporta come se fosse costituito da una lente circolare centrale di raggio R_1 e focale f_1 , da una lente a forma di anello di raggi R_1 e R_2 e focale f_2 e da una lente esterna, anche essa di forma anulare, di raggi R_2 e R_3 e focale f_3 .

² Vedi Appendici

L'immagine di una sorgente puntiforme, prodotta da questo sistema ottico su uno schermo, è quindi costituita da una macchia circolare prodotta dalla lente interna e da due immagini anulari prodotte dalle restanti due lenti.

Le dimensioni di tali immagini dipendono ovviamente dalle focali delle singole lenti e dalla distanza del sistema dal piano dello schermo.

Il Sole, a causa del suo diametro non infinitesimo, produrrà tre immagini circolari o a forma di anello.



USO DI UNA LENTE SOTTILE COME "GNOMONE" IN UNA LINEA MERIDIANA SU PIANO VERTICALE RIVOLTO A SUD

Consideriamo un piano verticale rivolto a Sud e realizziamo su di esso una meridiana sostituendo, al posto del "nodo" o punto gnomonico, una lente sottile.

Disponiamo la lente in modo che l'asse ottico appartenga al piano meridiano e al piano dell'equatore celeste e quindi in modo che sia diretto verso la posizione occupata dal centro del Sole al mezzogiorno vero nei giorni degli Equinozi.

Al mezzogiorno vero di un giorno qualsiasi la lente produce sul piano verticale una immagine del Sole di forma ellittica più o meno sfuocata, il cui centro, al trascorrere dei giorni, si sposta verticalmente sul piano percorrendo, durante l'anno, l'intera linea meridiana.

Indicando con O è il piede dell'ipotetico ortostilo (orto-lente) condotto dal centro C della lente e con :

- CO = h ortostilo (orto-lente)
- CF = f lunghezza focale
- CH = s distanza fra lente e schermo
- R = Raggio della lente
- φ = Latitudine
- δ = Declinazione del Sole
- ε = semidiametro angolare del Sole
- G = centro della immagine
- Φ_o, Φ_v raggi orizzontale e verticale della macchia luminosa

$$\overline{OG} = \frac{h}{\tan(\varphi - \delta)}$$

$$\overline{CG} = \frac{h}{\sin(\varphi - \delta)}$$

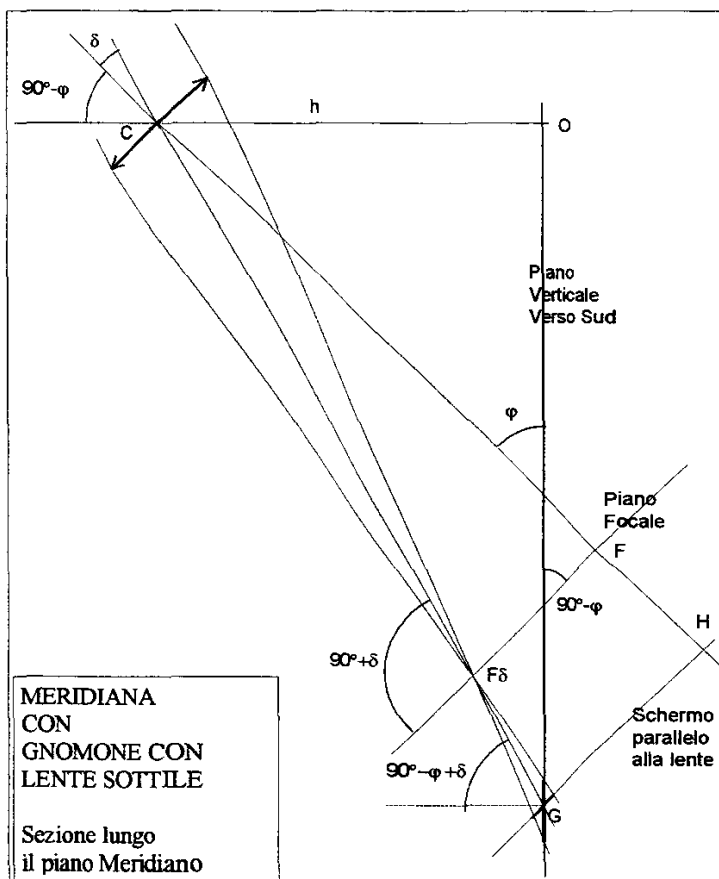
$$s = h \cdot \frac{\cos(\delta)}{\sin(\varphi - \delta)}$$

la lente forma una immagine circolare del Sole con centro in G e diametro orizzontale Φ_o dato da :

$$\Phi_o = R \cdot \frac{|s-f|}{f} + s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)} = \Phi_{op} + \Phi_{oe}$$

$$= \frac{R}{f} \cdot \left| \frac{h \cdot \cos(\delta)}{\sin(\varphi - \delta)} - f \right| + h \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos(\delta) \cdot \sin(\varphi - \delta)}$$

L'intersezione del piano verticale con il cono dei raggi è una ellisse avente un asse orizzontale = Φ_o e l'altro



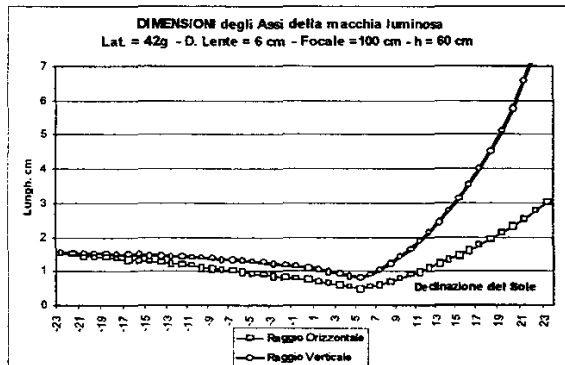
Sul piano per G, parallelo al piano focale,

verticale di lunghezza:

$$\Phi_v \cong \Phi_o \cdot \frac{\cos(\delta)}{\sin(\varphi - \delta)}$$

Illuminamento relativo dell'immagine del Sole sul piano

Se indichiamo con J_o l'illuminamento (energia luminosa per unità di superficie) su un piano normale ai raggi solari quando la declinazione del Sole è δ , si ha che l'illuminamento sul piano verticale - alle ore 12 di Tempo Vero cioè con il Sole a Sud - è dato da :



$$J_o \cdot \sin(\varphi - \delta).$$

L'energia luminosa che attraversa la lente, uguale a $\pi \cdot R^2 \cdot \cos(\delta) \cdot J_o$, viene concentrata nella macchia luminosa a forma di ellisse di semiassi Φ_o e Φ_v . Perciò l'illuminamento, dovuto alla concentrazione dei raggi solari, sull'immagine sfuocata del Sole prodotta dalla lente di raggio R , vale :

$$J_L = \frac{R^2 \cdot \cos(\delta)}{\Phi_o \cdot \Phi_v} \cdot J_o = \frac{R^2 \cdot \sin(\varphi - \delta)}{\Phi_o^2} \cdot J_o$$

e quindi l'illuminamento relativo - medio - dell'immagine sfuocata rispetto al piano verticale illuminato direttamente dal Sole vale :

$$J_{LR} = \frac{R^2}{\Phi_o^2} \quad \text{Considerando l'effetto di attenuazione}$$

dell'illuminamento ai bordi si trova :

$$J_{LR} \cong \frac{R^2}{\Phi_{OP}^2 + \Phi_{OE}^2}$$

Se la lente ha la forma di corona circolare con raggi R_i (interno) ed R_e (esterno), e l'immagine del Sole è circolare, il valore dell'illuminamento relativo dell'immagine sfuocata rispetto al piano verticale vale :

$$J_{LR} = \frac{R_e^2 - R_i^2}{\Phi_o^2}$$

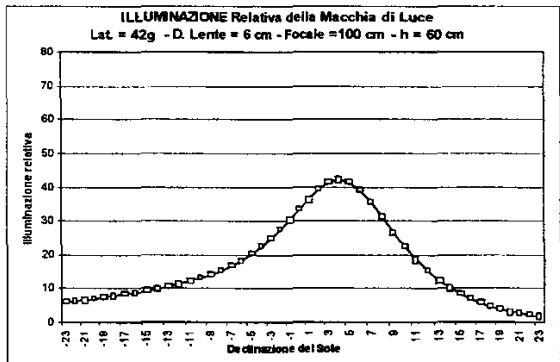
Caso particolare : lente parallela al piano

Se si dispone la lente parallela al piano la macchia ha sempre forma circolare come la lente, indipendentemente dalla altezza del Sole.

In questo caso il piano verticale è parallelo al piano focale, $s = h$ e il piano verticale coincide con il piano focale se $h = f$. Si ha :

$$\Phi_o = \Phi_v = R \cdot \frac{|h-f|}{f} + h \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\sin^2(\varphi - \delta)}$$

Come è ovvio se la distanza dal piano coincide con la focale della lente l'immagine si riduce a una macchia di diametro il più piccolo possibile e di intensità luminosa



molto grande - qualunque sia l'altezza del Sole.

In questo caso quindi è sufficiente una sola lente.

Il sistema però funziona nel modo descritto soltanto sino a quando l'angolo fra il raggio del Sole e l'asse ottico - orizzontale - è inferiore a circa 30-40°, cioè sino a quando i raggi si possono considerare "abbastanza vicini" all'asse ottico: per una località con Latitudine = 42° questo significa che la declinazione del Sole deve essere negativa, cioè in pratica solo nelle stagioni Autunno e Inverno.

Esempio

Con Lat. = $\varphi = 42^\circ$; $h = 60$ cm ; $R = 3$ cm ; $f = 100$ cm ; $\delta = 15^\circ$ si ottiene : $OG = 118$ cm ; $s = 127.6$ cm ; $\Phi_o = 1.5$ cm ; $\Phi_v = 3.1$ cm ; $J_{LR} = 8.2$

Caso particolare : focale di lunghezza infinita

Quando la focale della lente diventa infinita la lente stessa si riduce a una lastra a facce piane e parallele e quindi si ha il caso di foro semplice. Se trascuriamo l'effetto del diametro finito del Sole (cioè consideriamo abbastanza grande il raggio del foro) si hanno i seguenti - ovvi - risultati :

$$\Phi_o = R$$

$$\Phi_v = R \cdot \frac{\cos(\delta)}{\sin(\varphi - \delta)}$$

$$J_{LR} = 1$$

Esempio. Con Lat. = $\varphi = 42^\circ$; $h = 200$ cm ; $R = 0.5$ cm ; $\delta = 15^\circ$ si ottiene : $s = 425.5$ cm ; $\Phi_o = 2.6$ cm ; $\Phi_v = 5.6$ cm ; $J_{LR} = 0.052$

USO DI UNA SITEMA OTTICO COMPOSTO DA PIU' LENTI COME "GNOMONE"

Consideriamo un sistema costituito da tre lenti.
Siano f_1, f_2, f_3 le focali - equivalenti - della zona centrale di raggio R_1 e delle due corone circolari di raggi (esterni) R_2 e R_3 .

In ogni giorno dell'anno, cioè per ogni valore di δ , l'immagine prodotta da ciascuna delle tre lenti equivalenti si forma sul corrispondente piano focale e il pennello (focalizzato) dei raggi del Sole crea sul piano verticale una macchia luminosa avente date lunghezze degli assi e un dato illuminamento relativo.

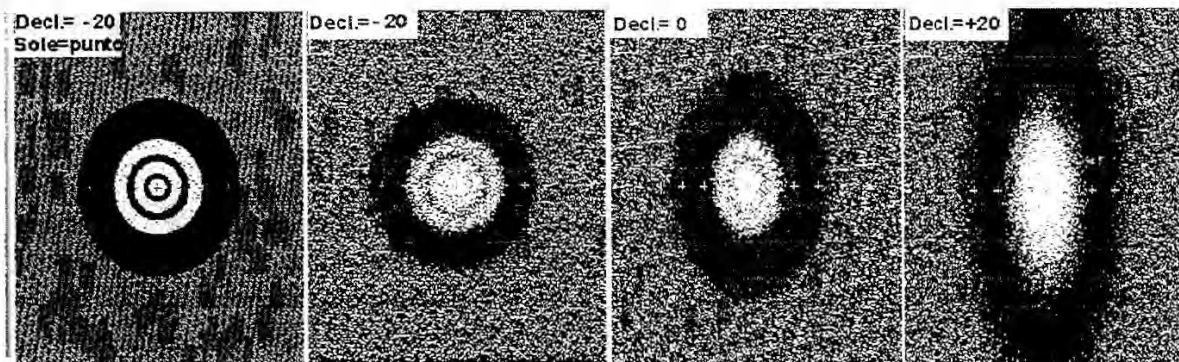
Le tre macchie luminose prodotte dalle tre lenti sono concentriche e, pur avendo la stessa forma, hanno dimensioni e illuminamenti diversi.

Per bassi valori (negativi) della declinazione del Sole la distanza fra il centro della lente e il punto in cui il piano è attraversato dal raggio non rifratto è abbastanza piccola e quindi la lente centrale di focale f_1 (inferiore alle altre) produrrà una macchia più piccola e meno sfuocata.

Per grandi, e positivi, valori della δ la distanza fra lente e piano è grande e quindi sarà la lente più esterna (a forma di corona) con focale f_3 a formare l'immagine di minori dimensioni e maggiore luminosità.

Col trascorrere dei giorni la macchia formata da ciascuna lente cambia, perciò, continuamente di dimensioni e luminosità.

Le diverse lenti si "passano" quindi il compito di creare l'immagine più luminosa che maggiormente viene percepita dall'osservatore. Nelle figure sono riprodotte alcune immagini prodotte da un programma di simulazione. Nella prima, ottenuta trascurando il diametro del Sole, è possibile vedere nitidamente le tre immagini prodotte dalle tre singole lenti.



Progetto del sistema - Scelta delle lenti

Volendo utilizzare un sistema ottico costituito da 3 lenti come gnomone in una meridiana su un piano verticale rivolto a Sud, possiamo adottare, per la scelta delle lenti, il seguente criterio che permette sia di ridurre la dimensione della macchia durante l'intero anno, sia di avere un illuminamento relativo, e quindi una luminosità relativa della macchia, la più alta possibile.

- Si prende l'asse ottico come precedentemente indicato, cioè appartenente al piano meridiano e al piano dell'equatore celeste. Questo per avere il minimo scostamento dei raggi dall'asse ottico.
- Si scelgono tre valori della declinazione del Sole $\delta_1, \delta_2, \delta_3$
- Si impone che la macchia luminosa prodotta dalle tre lenti di focali f_1, f_2, f_3 abbia dimensioni teoricamente = 0, trascurando l'effetto dovuto al diametro finito del Sole, in corrispondenza ai valori fissati per le diverse δ .

Si ottengono le relazioni seguenti ove le dimensioni sono tutte in cm :

$$\frac{1}{f_1} = \frac{\sin(\varphi - \delta_1)}{h \cdot \cos(\delta_1)} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{100}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{\sin(\varphi - \delta_2)}{h \cdot \cos(\delta_2)} = \frac{C_2 + C_3}{100}$$

$$\frac{1}{f_3} = \frac{\sin(\varphi - \delta_3)}{h \cdot \cos(\delta_3)} = \frac{C_3}{100}$$

da cui si possono ricavare le focali f e le concentrazioni C , in diottrie, delle lenti elementari.

Un possibile criterio per la scelta dei valori delle δ da adottare può essere il seguente :

- si calcola la distanza sulla verticale in cui cade l'immagine del Sole nel Solstizio invernale. Sia LI il suo valore (nella figura precedente la distanza OG)
- si calcola la distanza sulla verticale in cui cade l'immagine del Sole nel Solstizio estivo. Sia LE il suo valore
- Si divide la distanza fra i due punti trovati (di lunghezza LE-LI) in 4 parti uguali. Siano X1, X2, X3 i punti di separazione fra queste parti.
- Si calcolano i valori della δ che deve avere il Sole per formare l'immagine in ciascuno dei punti X così trovati.

Relazioni :

$$LI = \frac{h}{\tan(\varphi + e)}$$

$$\overline{OX1} = \frac{3 \cdot LI + LE}{4}$$

$$LE = \frac{h}{\tan(\varphi - e)}$$

$$\overline{OX2} = \frac{2 \cdot LI + 2 \cdot LE}{4}$$

con $e = 23^\circ 27'$

$$\overline{OX3} = \frac{LI + 3 \cdot LE}{4}$$

$$OX = \frac{h}{\tan(\varphi - \delta_x)}$$

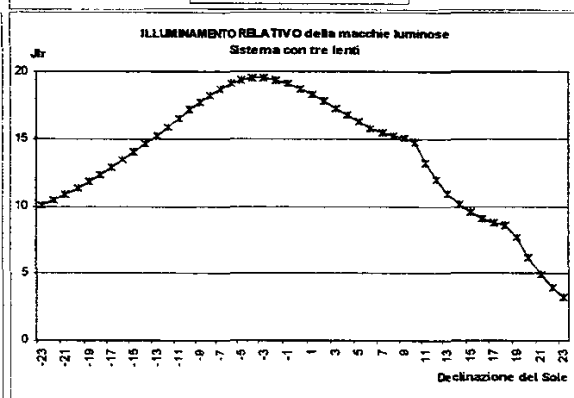
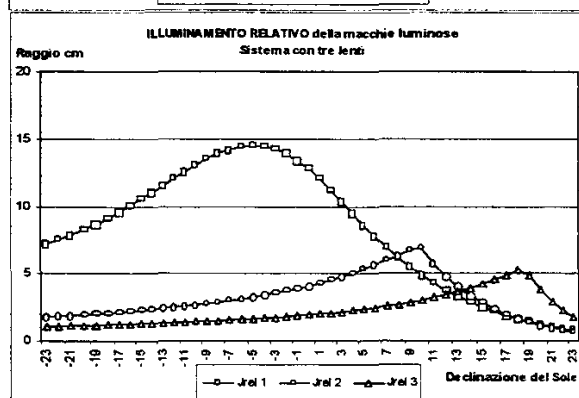
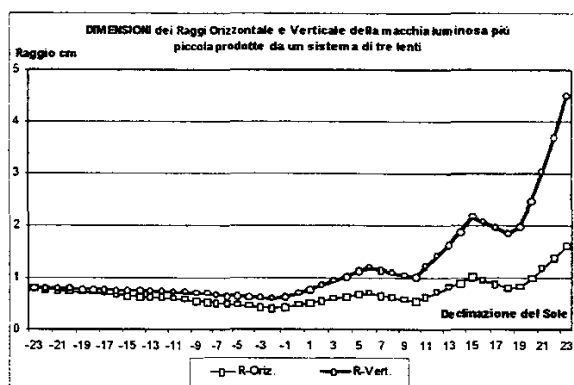
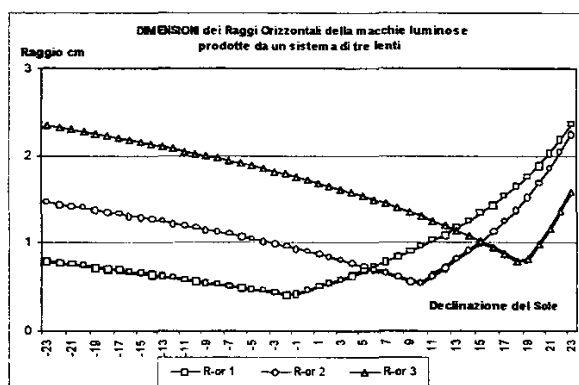
C3 = 0.690 Prendendo dei valori arrotondati
si ottengono le focali seguenti per le lenti composte :
C1a = 0.25 diottrie f1 = 86.95 cm
R1 = 1.5 cm
C2a = 0.2 f2 = 111.11
R2 = 2.5 cm
C3a = 0.7 f3 = 142.86
R3 = 3.5 cm

Si ottengono i risultati riassunti nei grafici.

Nel prima figura sono riportate le dimensioni dell'asse orizzontale (più corto) delle macchie di luce formate dalle tre lenti composte, prese singolarmente, al variare della declinazione del Sole.

Si può osservare che per ogni valore di δ la dimensione di almeno una macchia è sempre inferiore a 1 cm ad eccezione dei giorni in prossimità del Solstizio estivo e vedere che gli andamenti hanno minimi in corrispondenza dei valori della declinazione scelti come punto di partenza del progetto.

Nella seconda figura sono riportati i diametri orizzontale e verticale della macchia luminosa di dimensioni più piccole.



Esempio

$\varphi = 42^\circ$ $e = 23^\circ 27'$
 $h = 60$ cm
 $LI = 27.407$ $LE = 178.802$
 $OX1 = 65.256$ $\delta_1 = -0.597^\circ$
 $OX2 = 103.104$ $\delta_2 = +11.803^\circ$
 $OX3 = 140.953$ $\delta_3 = +18.942^\circ$
da cui si ottengono le diottrie delle lenti singole :
C1 = 0.272 diottrie
C2 = 0.166

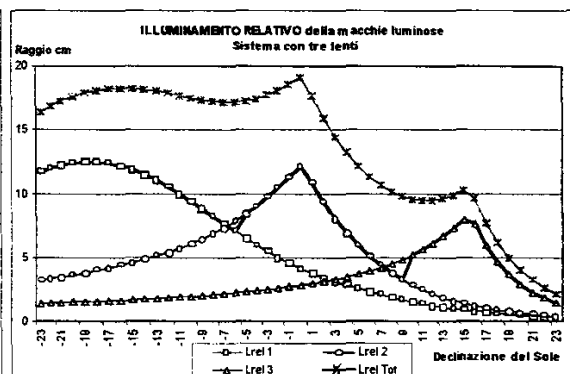
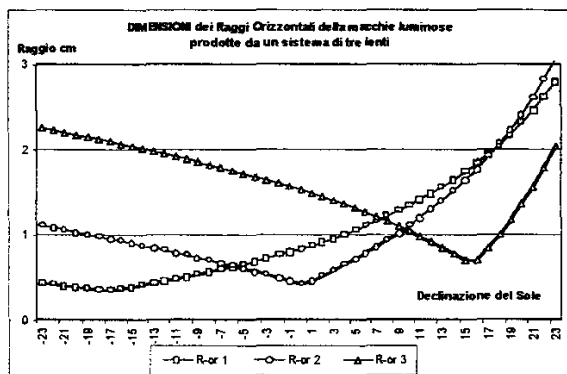
Ad es. per $\delta = 0^\circ$ le dimensioni sono = 0.46×0.9 ; 0.9×1.8 ; 1.7×3.4 cm

Nelle successive figure sono dati i valori degli illuminamenti relativi all'illuminamento sul piano verticale dovuto alla luce solare non concentrata :

1. delle macchie prodotte dalle tre lenti composte prese singolarmente
2. della parte centrale dell'insieme delle tre macchie, sovrapposte. Illuminamento complessivo dovuto

all'insieme delle tre lenti (somma dei grafici precedenti)
Occorre ricordare che un illuminamento relativo dell'ordine di 10 produce una immagine abbagliante ($> 300.000 \text{ lumen/m}^2$)

Si può notare che l'illuminamento complessivo è molto maggiore quando δ è bassa e diminuisce in seguito. Per ovviare a questo inconveniente si possono sia variare i diametri che le focali delle singole lenti.



Nelle figure riportate sopra si possono vedere le variazioni che si ottengono prendendo le focali (equivalenti) uguali a 66, 90, 130 cm e i raggi di 1.2, 2.4, 3.6 cm. si può osservare la maggiore luminosità della zona centrale per alti valori della declinazione

LINEA MERIDIANA SU PIANO VERTICALE DECLINANTE

Consideriamo un piano verticale declinante con Azimut $\alpha \neq 0^\circ$ e un ortostilo, di lunghezza h , che esce dal punto O del piano. Sia C l'estremo dell'ortostilo (punto gnomonico) e Oxy un sistema di assi sul piano con x orizzontale, positivo verso sinistra guardando il piano, e y verticale, positivo verso il basso.

La linea meridiana, percorsa dall'ombra di C , è una linea verticale di equazione $x = h \cdot \tan(\alpha)$

Disponiamo una lente, di lunghezza focale f e raggio R , con il centro nel punto gnomonico C e con l'asse ottico appartenente al piano Meridiano e al piano dell'equatore Celeste, cioè perpendicolare all'asse polare.

L'asse ottico della lente incontra il piano sulla linea Meridiana nel punto Equinoziale E di coordinate

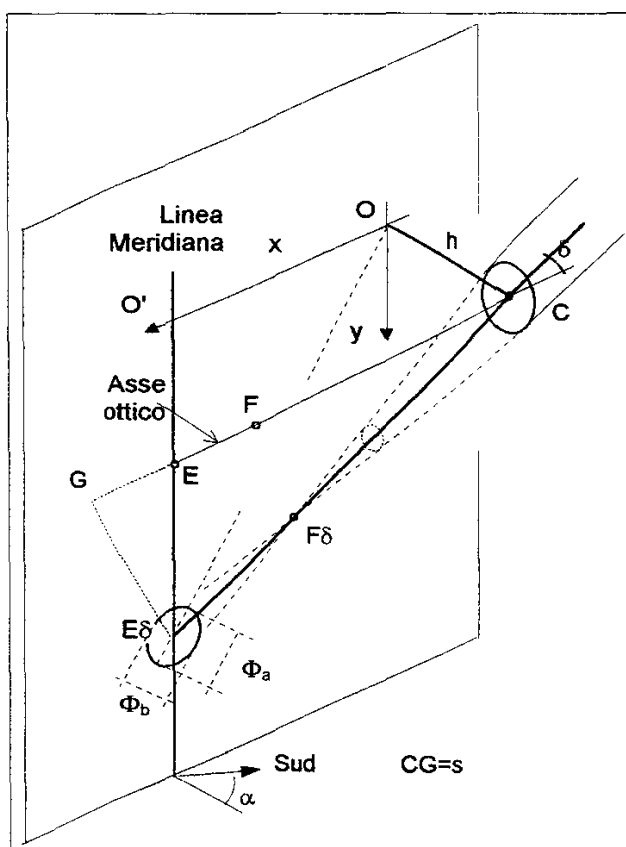
$$\left\{ h \cdot \tan(\alpha), \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi)} \right\}$$

Il fuoco F della lente si trova sull'asse ottico CE e dista f dal punto C .

Il piano focale è il piano perpendicolare all'asse ottico, e quindi parallelo al piano della lente, passante per il fuoco F .

L'immagine del Sole, più o meno sfuocata, prodotta dalla lente al mezzogiorno vero percorre durante l'anno la linea meridiana.

Se δ è la declinazione del Sole in un dato giorno, il fascio di raggi entranti nella lente viene focalizzato nel punto F_δ intersezione del piano focale con il raggio non rifratto



passante per il centro C della lente.

Il raggio non rifratto - l'asse del cono di raggi - incontra la linea meridiana nel punto Eδ di coordinate

$$\left\{ h \cdot \tan(\alpha), \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi - \delta)} \right\}$$

Una sezione del cono dei raggi focalizzati, fatta con un piano parallelo al piano focale e distante s da C, ha la forma circolare della lente.

Il cono dei raggi focalizzati ha quindi una sezione di forma circolare quando è sezionato da un piano NON perpendicolare al suo asse e pertanto una sua sezione, normale all'asse stesso, ha forma ellittica

Il raggio della sezione circolare del cono parallela al piano focale alla distanza s da C (immagine prodotta su un piano parallelo alla lente distante s da essa) vale :

$$\Phi_o = R \cdot \frac{|s - f|}{f} + s \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos^2(\delta)}$$

L'ellisse in cui il piano verticale del quadrante interseca il cono dei raggi ha gli assi inclinati rispetto agli assi coordinati xy, con una inclinazione che dipende, in maniera abbastanza complessa, da α, δ e φ.

Le seguenti relazioni forniscono dei valori abbastanza approssimati degli assi dell'ellisse³:

$$\Phi_A = \frac{R}{f} \left| \frac{h \cdot \cos(\delta)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi - \delta)} - f \right| + h \cdot \frac{\tan(\varepsilon)}{\cos(\alpha) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi - \delta)}$$

$$\Phi_B \cong \Phi_A \cdot \frac{\cos(\delta)}{\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi - \delta)}$$

Gli assi dell'ellisse sono inclinati rispetto alla verticale e, con buona approssimazione l'asse maggiore coincide con la retta che unisce l'origine degli assi con il punto Eδ. L'inclinazione η dell'asse maggiore, rispetto all'asse x, è quindi data, approssimativamente, dalla :

$$\tan(\eta) = \frac{1}{\sin(\alpha) \cdot \tan(\varphi - \delta)}$$

L'illuminamento sul piano verticale declinante è dato da $J \cdot \sin(\varphi - \delta) \cdot \cos(\alpha)$ e quello relativo dell'immagine sfuocata rispetto al piano illuminato dal Sole è, con le solite approssimazioni, data da:

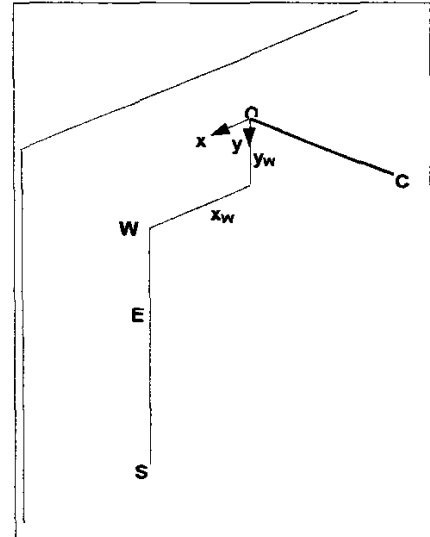
$$J_{LR} \cong \frac{R^2}{\Phi_A^2}$$

³ L'approssimazione della formula varia al variare di α, δ e φ. Per le nostre latitudini (40 - 50°) e con α inferiore a 30 gradi l'approssimazione è inferiore al 10%. L'approssimazione della inclinazione η è inferiore ai 10°

Progetto - Piano Verticale Declinante

Si suppone siano noti :

- la Latitudine φ della località
- la Declinazione α del piano verticale
- la lunghezza e la posizione della linea meridiana voluta e quindi le posizioni sul piano verticale dei suoi due punti estremi :
 - W - punto più in alto corrispondente al Solstizio Invernale
 - S - punto più in basso corrispondente al Solstizio Estivo



Occorre pertanto determinare la posizione dell'ortostilo e la sua lunghezza h

In un sistema di coordinate Oxy, con l'origine O nel piede dell'ortostilo, l'asse x orizzontale positivo verso sinistra e l'asse y verticale positivo verso il basso, si ha :

$$h = \overline{CO}$$

$$y_w = \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi + \varepsilon)}$$

$$y_s = \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi - \varepsilon)}$$

Da cui chiamando L la lunghezza della linea meridiana $L = y_s - y_w$ si ricava :

$$h = L \cdot \frac{\cos(\alpha)}{\left\{ \frac{1}{\tan(\varphi - \varepsilon)} - \frac{1}{\tan(\varphi + \varepsilon)} \right\}} \quad \text{e infine}$$

$$x_w = h \cdot \tan(\alpha) \quad y_w = \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi + \varepsilon)}$$

Volendo il punto E in cui la linea Equinoziale incontra la Meridiana :

$$y_E = \frac{h}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi)} \quad \text{e} \quad \text{la lunghezza sino a portare queste grandezze ai valori di progetto originari.}$$

$$\overline{WE} = y_E - y_W = \frac{h}{\cos(\alpha)} \left\{ \frac{1}{\tan(\varphi)} - \frac{1}{\tan(\varphi + \varepsilon)} \right\}$$

Noto quindi il punto invernale W spostandosi da esso di $-x_W$ e $-y_W$ si trova il piede O dell'ortostilo che deve avere lunghezza h.

Verifica e controllo - Piano Verticale Declinante

Si vogliono verificare i valori esatti del posizionamento e della lunghezza dell'ortostilo in una meridiana già costruita eventualmente per modificarli ed effettuare una messa a punto.

Occorre determinare tre grandezze, le coordinate del piede dell'ortostilo rispetto a un punto della linea meridiana (punto invernale W) e la lunghezza dell'ortostilo, e pertanto non è sufficiente una sola misura della posizione della macchia di luce ma ne occorreranno due.

Se ad esempio, in una misura fatta a mezzogiorno vero, si trova che il punto luminoso cade sulla linea Meridiana, questo può anche essere dovuto ad errori sia sulla lunghezza dell'ortostilo, sia sulla distanza orizzontale (x) fra il piede dell'ortostilo e la linea Meridiana tracciata.

Siano (Az_1, δ_1) e (Az_2, δ_2) l'Azimut e la declinazione del Sole negli istanti di misura e (x_1, y_1) e (x_2, y_2) le coordinate dei punti luminosi sul piano misurate in un sistema di coordinate con origine qualunque. Si hanno le relazioni :

$$x_1 = h \cdot \tan(\alpha - Az_1)$$

$$y_1 = h \cdot \frac{\tan(90^\circ - \varphi + \delta_1)}{\cos(\alpha - Az_1)}$$

$$x_2 = h \cdot \tan(\alpha - Az_2)$$

$$y_2 = h \cdot \frac{\tan(90^\circ - \varphi + \delta_2)}{\cos(\alpha - Az_2)}$$

Misurando quindi la differenza $(x_2 - x_1)$ si possono ricavare i valori veri della lunghezza dell'ortostilo e delle coordinate del punto invernale W :

$$h_{VERO} = \frac{x_2 - x_1}{\tan(\alpha - Az_1) - \tan(\alpha - Az_2)}$$

$$y_{W-VERO} = \frac{h_{VERO}}{\cos(\alpha) \cdot \tan(\varphi + \varepsilon)}$$

$$x_{W-VERO} = h_{VERO} \cdot \tan(\alpha)$$

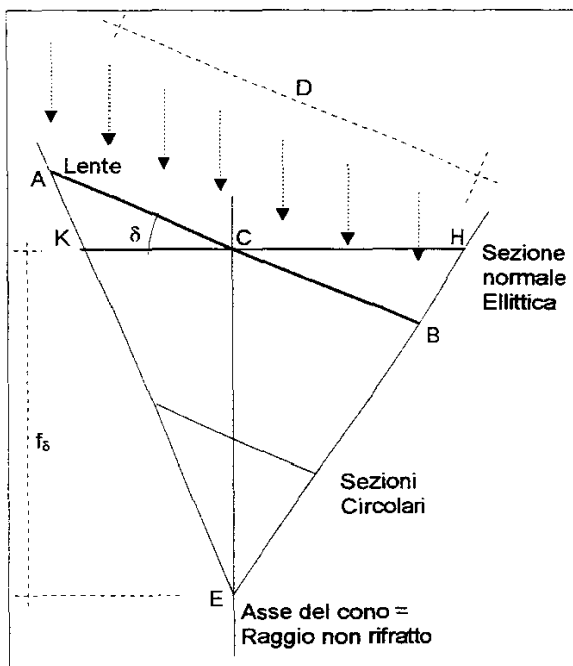
Se i valori così trovati non coincidono con i valori calcolati in sede di progetto l'orologio solare non è corretto e occorre spostare il piede dell'ortostilo e variarne

APPENDICE I

Descrizione del cono di raggi

Se una lente sottile convergente è colpita da un fascio di raggi paralleli, inclinati sull'asse ottico dell'angolo δ , il pennello dei raggi focalizzati ha un asse inclinato di δ rispetto all'asse ottico; le sezioni fatte con piani paralleli ad AB e normali all'asse ottico hanno forma circolare; le sezioni (HK) fatte con piani perpendicolari ai raggi luminosi CE hanno forma ellittica.

Per studiare la forma del pennello di raggi consideriamo un cono circolare retto di asse CE e facciamo ruotare di un angolo δ le sue sezioni normali attorno ad una retta perpendicolare all'asse (e uscente dalla figura)



Come si può capire osservando la figura, una sezione, perpendicolare all'asse CE, della superficie conica ottenuta con questa costruzione, ha una forma ellittica con il centro spostato rispetto al punto di intersezione C dell'asse del cono originario con la sezione stessa.

Se prendiamo sulla sezione normale KCH un sistema di assi ortogonali con origine in C e asse x lungo CH, si può dimostrare che i punti della curva in cui la sezione interseca il cono sono dati da:

$$x = \frac{f \cdot R \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha)}{f - R \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(\alpha)}$$

$$y = \frac{f \cdot R \cdot \sin(\alpha)}{f - R \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(\alpha)} \quad \text{ove}$$

R = raggio lente

f = focale $CE_d = f_0$

α un angolo ausiliario che va da 0° a 360°

Eliminando l'angolo α si ricava che l'ellisse KCH ha centro in

$$x_c = f \cdot \frac{R^2 \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\delta)}{f^2 - R^2 \cdot \sin^2(\delta)} \quad \text{e semiassi dati da:}$$

$$S_x = \frac{R \cdot f^2 \cdot \cos(\delta)}{f^2 - R^2 \cdot \sin^2(\delta)}$$

$$S_y = \frac{R \cdot f}{\sqrt{f^2 - R^2 \cdot \sin^2(\delta)}}$$

La retta che unisce i centri delle ellissi (sezioni normali) NON coincide con l'asse del cono originario.

Se la lunghezza f tende all'infinito il cono si trasforma in un cilindro ellittico retto con sezione costante di semiassi

$$S_x = R \cdot \cos(\delta) \quad S_y = R$$

Essendo al massimo $\delta=23.5^\circ$ si trova che $x_c < R/100$ se $D < f/36$ cioè quando l'apertura del cono è piccola. Questa condizione è praticamente soddisfatta per tutte le lenti.

In questo caso quindi il cono si può praticamente considerare di sezione ellittica. Una sezione normale fatta a distanza k dal vertice avrà pertanto - in pratica - centro sull'asse e semiassi dati da:

$$S_x = R_k \cdot \cos(\delta) \quad S_y = R_k \quad \text{con}$$

$$R_k = R \cdot \frac{k}{f_\delta}$$

APPENDICE II

IMMAGINE DI UN FORO PROIETTATA SU UNA PARETE VERTICALE

Consideriamo un foro circolare realizzato su una lastra appartenente a un piano inclinato e declinante e un piano verticale anch'esso declinante.

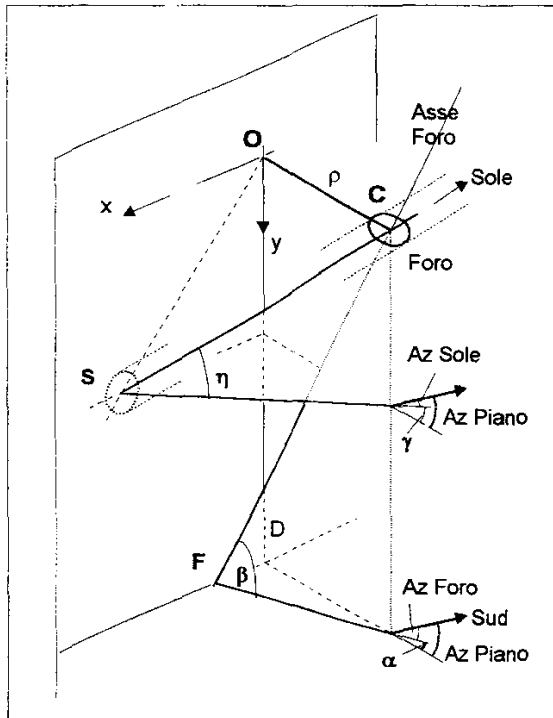
I raggi del Sole, che supporremo per semplicità puntiforme, attraversano il foro e vanno a colpire il piano formando su di esso una macchia di luce.

Dato che il foro "è visto" dal Sole come un'ellisse anche il pennello di raggi ha la sezione normale all'asse di forma ellittica.

Questo pennello schiacciato interseca il piano verticale in una figura anch'essa di forma ellittica i cui assi, come lunghezza e inclinazione, dipendono in modo abbastanza complesso dagli angoli fra i vari elementi: piano verticale, piano del foro, direzione dei raggi dal Sole.

Calcoli - Formule

Supponiamo il Sole puntiforme e i raggi che da esso



provengono tutti paralleli e indichiamo con :

- F il punto di incontro dell'asse del foro con il piano
- ρ la distanza del centro C del foro dal piano stesso
- Az_Piano e Az_Foro le declinazioni del piano verticale e del piano contenente il foro
- α la declinazione del piano del foro rispetto al piano verticale cioè $\alpha = \text{Az_Piano} - \text{Az_Foro}$
- β l'inclinazione del piano del foro rispetto al piano orizzontale, cioè l'angolo che l'asse del foro forma con il piano orizzontale. $\beta = 0^\circ$ se il foro è verticale; $\beta = 90^\circ$ se il foro è orizzontale.
- Az_Sole l'Azimut di un raggio proveniente dal Sole. Questo raggio, passante per il centro C del foro, colpirà il piano verticale nel punto S
- η l'altezza del Sole sull'orizzonte
- γ l'azimut del raggio rispetto al piano cioè $\gamma = \text{Az_Piano} - \text{Az_Sole}$

Consideriamo infine un sistema di assi cartesiani ortogonali con :

- origine O nel piede della normale al piano dal centro C del foro (OC = ortostilo)
- asse x, appartenente al piano verticale, orizzontale e positivo verso sinistra
- asse y, appartenente al piano verticale, verticale e positivo verso il basso

Si ricavano le relazioni seguenti:

Coseni Direttori della retta CF

$$\begin{aligned} m1 &= \text{sen}(\alpha) \cdot \cos(\beta) \\ m2 &= \text{sen}(\beta) \\ m3 &= -\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{aligned}$$

Coseni Direttori della retta CS

$$\begin{aligned} n1 &= \text{sen}(\gamma) \cdot \cos(\eta) \\ n2 &= \text{sen}(\eta) \\ n3 &= -\cos(\gamma) \cdot \cos(\eta) \end{aligned}$$

Angolo θ fra le rette CF e CS

$$\cos(\theta) = m1 \cdot n1 + m2 \cdot n2 + m3 \cdot n3$$

Coordinate del punto F

$$\left\{ \rho \cdot \tan(\alpha), \rho \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha)} \right\} = \left\{ -\rho \cdot \frac{m1}{m3}, -\rho \cdot \frac{m2}{m3} \right\}$$

Coordinate del punto S

$$\left\{ \rho \cdot \tan(\gamma), \rho \cdot \frac{\tan(\eta)}{\cos(\gamma)} \right\} = \left\{ -\rho \cdot \frac{n1}{n3}, -\rho \cdot \frac{n2}{n3} \right\}$$

Retta OS $y = \frac{n2}{n1} \cdot x = \frac{\tan(\eta)}{\tan(\gamma)} \cdot x$

Distanza CS $\overline{CS} = \left| \frac{\rho}{n3} \right|$

Equazione del piano del foro

$$m1 \cdot x + m2 \cdot y + m3 \cdot (z - \rho) = 0$$

Equazione della normale al foro per C

$$\frac{x}{n1} = \frac{y}{n2} = \frac{z - \rho}{n3}$$

Il piano CFS contenente la normale al foro e il raggio dal Sole interseca il piano verticale lungo la retta FS.

Equazione del piano CFS

$$x \cdot l1 + y \cdot l2 + (z - \rho) \cdot l3 = 0 \quad \text{con}$$

$$l1 = (m2 \cdot n3 - m3 \cdot n2) / \sqrt{A}$$

$$l2 = (m3 \cdot n1 - m1 \cdot n3) / \sqrt{A}$$

$$l3 = (m1 \cdot n2 - m2 \cdot n1) / \sqrt{A}$$

$$\sqrt{A} = \sqrt{(m2 \cdot n3 - m3 \cdot n2)^2 + (m3 \cdot n1 - m1 \cdot n3)^2 + (m1 \cdot n2 - m2 \cdot n1)^2}$$

Equazione della retta SF

$$y - y_s = -\frac{l1}{l2} \cdot (x - x_s)$$

Con alcuni passaggi si ricavano le seguenti relazioni che permettono di ottenere i valori degli assi maggiore e

minore dell'ellisse in cui il foro è proiettato sul piano, e le inclinazioni di questi assi rispetto al sistema Oxy.
Coseni direttori della normale alla CS appartenete al piano CFS:

$$j1 = n3 \cdot l2 - n2 \cdot l3$$

$$j2 = n1 \cdot l3 - n3 \cdot l1$$

$$j3 = n2 \cdot l1 - n1 \cdot l2$$

Angolo ausiliario τ

$$\tan(2 \cdot \tau) = \frac{2 \cdot \cos(\theta) \cdot l3 \cdot j3}{\sin^2(\theta) \cdot n3^2 + l3^2 - \cos^2(\theta) \cdot j3^2}$$

Dalla relazione precedente si possono ricavare due valori τ_1 e $(90 + \tau_1)$: uno serve per determinare il valore dell'asse minore e l'altro per l'asse maggiore della ellisse immagine.

Se (xM, yM) sono le coordinate del punto estremo di uno di questi assi si ricava:

$$\begin{aligned} xM - xS &= -D \cdot \cos(\tau) \cdot \frac{j2}{n3} + \\ &+ D \cdot \sin(\tau) \cdot \cos(\theta) \cdot \frac{(j1 \cdot n3 - j3 \cdot n1)}{n3} \\ yM - yS &= D \cdot \cos(\tau) \cdot \frac{j1}{n3} + \\ &+ D \cdot \sin(\tau) \cdot \cos(\theta) \cdot \frac{(j2 \cdot n3 - j3 \cdot n2)}{n3} \end{aligned}$$

ove D è il semidiametro del foro e θ è l'angolo fra il raggio e la normale al foro

La lunghezza dell'asse è

$$\sqrt{(xM - xS)^2 + (yM - yS)^2}$$

La pendenza è

$$= \frac{yM - yS}{xM - xS}$$

Esempio.

$\alpha = 20^\circ$; $\beta = 30^\circ$; $\gamma = 40^\circ$; $\eta = 60^\circ$; $D = 1$
 $\tau_1 = -14.0036^\circ$; $\tau_2 = +75.9964^\circ$ $\theta = 32.8692^\circ$
Asse Maggiore = 2.2107 inclinato di $+67.5^\circ$
Asse Minore = 0.9919 inclinato di -22.5°

Si può dimostrare la seguente proprietà.

Il diametro del foro che è parallelo al piano verticale (intersezione con il foro di un piano verticale parallelo al quadro e passante per C) viene proiettato di lunghezza inalterata = D.

La proiezione sul piano verticale di questo diametro - lunga D - passa per il punto S ed è perpendicolare alla retta CF

Formule Approssimate

Se l'angolo fra il raggio dal Sole e l'asse del foro non è molto grande (inferiore a $20 - 30^\circ$ circa) le formule seguenti danno dei valori degli assi dell'ellisse e le loro

pendenze abbastanza prossimi ai valori esatti (errore inferiore a circa il 10% sulle lunghezze degli assi e a circa 10° sulle pendenze)

$$\text{Asse Minore} = D$$

$$\text{Asse Maggiore} = D \cdot \frac{\cos(\eta - \beta)}{\cos(\eta) \cdot \cos(\gamma)}$$

$$\text{Pendenza } \pi \text{ con } \tan(\pi) = \frac{\tan(\eta)}{\sin(\gamma)}$$

Questa pendenza è quella della retta OS e quindi l'ellisse è all'incirca disposto con l'asse maggiore su questa retta.

Esempio.

Con i dati dell'esempio precedente con le formule approssimate si ricavano i valori:

Asse Maggiore = 2.26103 con un errore del 2.27% ;
inclinazione = 69.6° con un errore di 2.1°
Asse Minore = 1.00 con un errore del 0.81%

Caso particolare - Azimut del piano verticale, del foro e del Sole uguali: $\alpha = \gamma = 0$

Se il foro è "affacciato" al piano, cioè se il piano del foro ha la stessa declinazione del piano verticale, e il Sole "è di fronte" al piano, cioè i suoi raggi appartengono a un piano normale al piano verticale, allora risulta $\alpha = \gamma = 0$

In questo caso l'angolo θ fra l'asse del foro e il raggio dal Sole vale $\theta = |\eta - \beta|$, la macchia di luce sul piano è una ellisse con l'asse minore orizzontale di lunghezza = D e l'asse maggiore verticale di lunghezza =

$$D \cdot \frac{\cos(\eta - \beta)}{\cos(\eta)}$$

Un caso come questo si ha quando il piano e il foro sono entrambi rivolti a Sud e il Sole è sul Meridiano per cui si ha:

$$\eta = 90 - \varphi + \delta$$

Se l'asse del foro giace sull'Equatore celeste $\beta = 90 - \varphi$ e quindi l'asse verticale ha lunghezza

$$= D \cdot \frac{\cos(\delta)}{\sin(\varphi - \delta)}$$

SUPERFICI "ISOTACHE", DESCRIZIONE DI UNA FAMIGLIA DI OROLOGI SOLARI FRANCESCO FERRO MILONE

ESTRATTO

Ho chiamato superfici "isotache" le superfici sulla cui superficie l'ombra avanza sempre alla stessa velocità. Nelle più note lo stilo è posto sull'asse del cilindro, ma se ne possono costruire altre in cui lo stilo giace alle estremità della porzione cilindrica anziché sull'asse. Ne deriva una serie di orologi che hanno l'aspetto di colonne doriche.

La circonferenza di costruzione

Prendiamo sul piano equatoriale un arco qualunque, ABC, in cui B sia punto medio tra A e C. (Vedi fig. 1) Per il noto teorema degli archi alla circonferenza, gli archi AB e BC, che sono sottesi da due angoli al centro di uguale ampiezza (α), visti dal punto P sono sottesi da due archi alla circonferenza anch'essi uguali che valgono $\alpha/2$. Se ora si porta il punto P a coincidere con il punto C, i due archi AB e BC saranno visti sempre sotto gli stessi angoli che valgono $\alpha/2$.

Ciò equivale a dire (trascuriamo gli effetti della rifrazione atmosferica e delle variazioni della rotazione terrestre) che anche l'ombra del punto C sulla circonferenza percorre archi uguali in tempi uguali.

Non ci resta che scegliere quante ore contenere nel singolo arco (v. figg. 2-6) e eventualmente quanti archi mettere in successione. "Estrudendo" gli archi disposti in successione si ottiene una famiglia di orologi che si potrebbero definire "dorici", per l'effetto che si ottiene (v. figg. 7-9).

la circonferenza di assemblaggio

per assemblare insieme più archi è opportuno, ma non obbligatorio, scegliere archi che misurino un numero di ore sottomultiplo di 24: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12.

Infatti assemblando tali archi si può fare un giro completo di 360°.

Bisogna inoltre osservare che quando l'ombra si avvicina allo spigolo perde di leggibilità.

Quindi un arco piccolo (1-2h, v. figg. 2 e 7) dovrà essere costruito in modo molto più accurato di un'arco grande (4-8h, v. figg. 4-6 e 9). A questo si può rimediare facendo segnare al singolo "spicchio" un numero di ore superiore al necessario, in modo che quando l'ombra arriva a metà della faccia, per es., si può già passare a quella successiva (v. figg. 3 e 9).

Vi presento alcuni esempi di assemblaggio con differenti archi (nota: gli archi che misurano più di 4 ore non possono essere assemblati per le estremità, ma devono avere segmenti di raccordo (v. figg. 5 e 6).

Una considerazione particolare merita l'arco di 240° (v. fig. 6) che da solo permette di segnare 12 ore con un'ombra mai troppo vicina allo gnomone (lo spigolo). Lo spigolo "orientale" segnerà le ore dalle 6 alle 14, ma già dalle ore 10 inizierà a segnare l'ombra anche lo spigolo occidentale. Il passaggio di lettura tra il primo e il secondo spigolo sarà ottimo a mezzogiorno, quando le due ombre sono simmetricamente identiche.

Altro caso degno di nota è l'arco di 360°, con l'accortezza che bisogna ricordarsi di far entrare il sole! Ma questo è un problema risolvibile. Naturalmente segnerà 12 ore ($=\alpha/2$).

Tra i vantaggi di questi quadranti c'è il fatto di non poter perdere tanto facilmente lo gnomone, oltre alla facilità di costruzione delle linee orarie, che sono tutte alla stessa distanza una dall'altra.

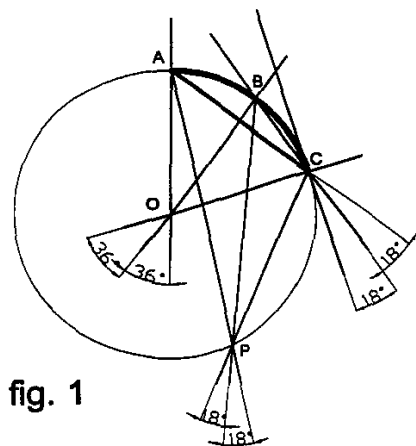


fig. 1

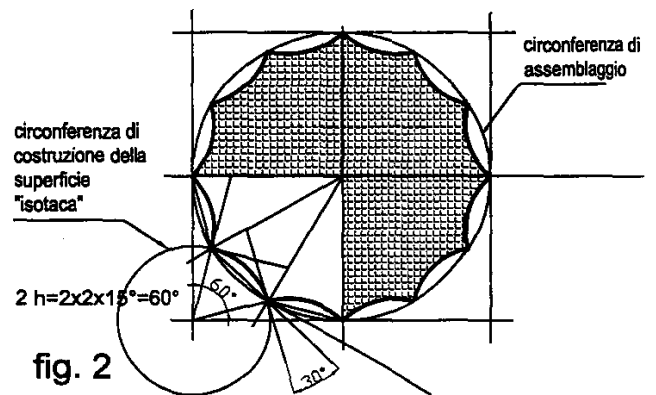


fig. 2

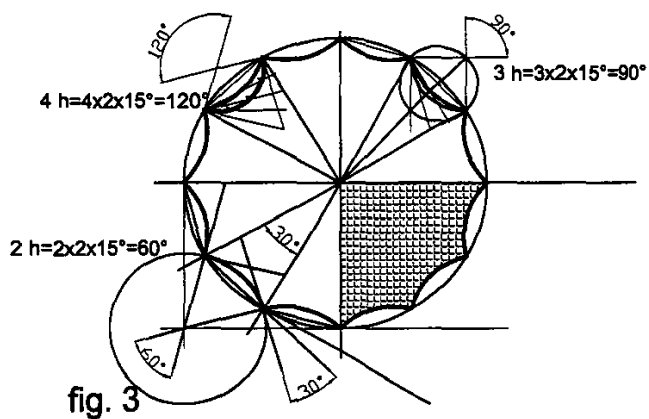


fig. 3

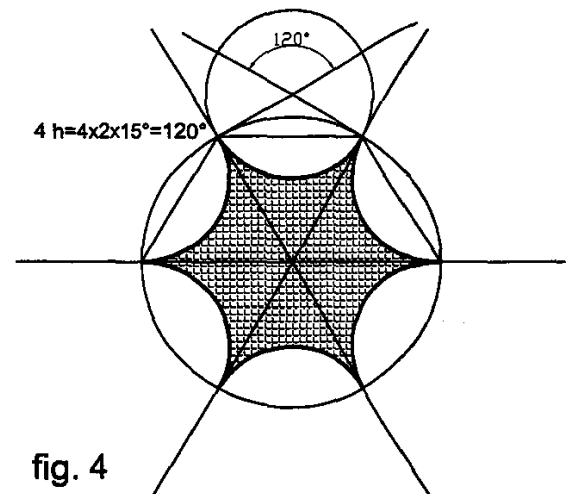


fig. 4

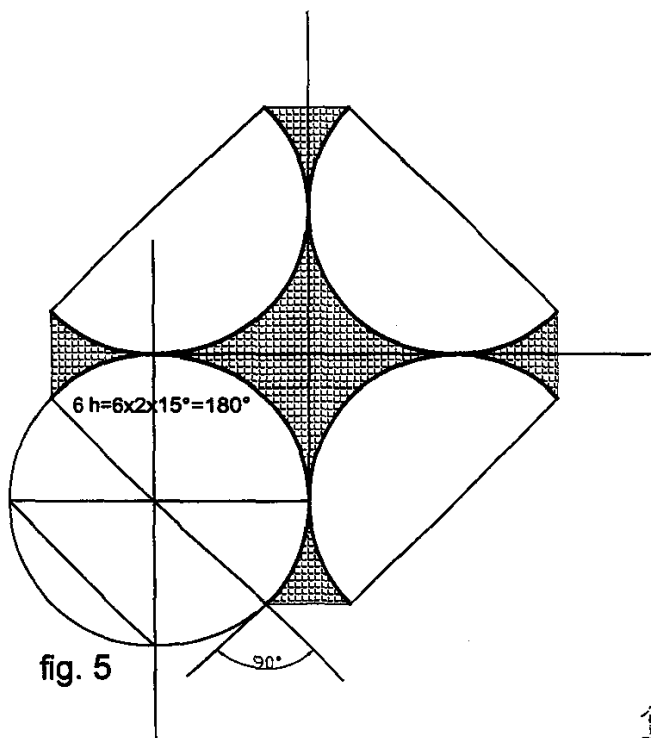


fig. 5

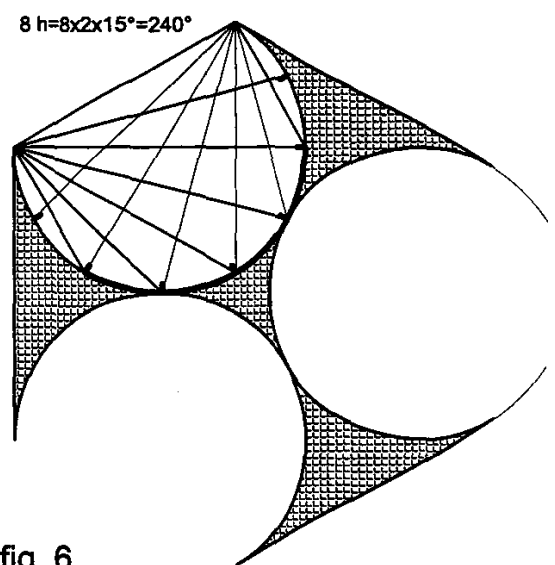
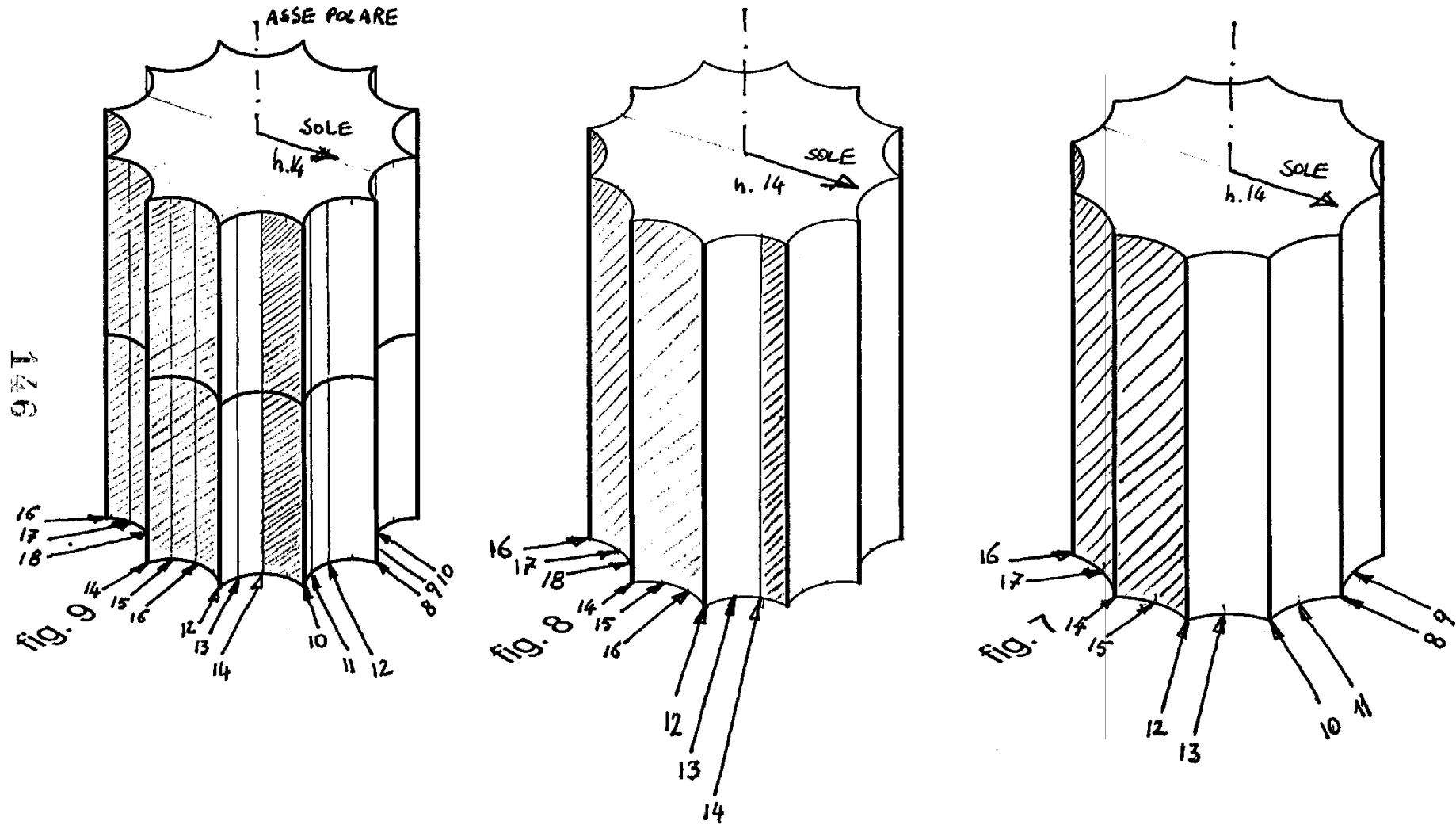


fig. 6

Tutti e tre gli orologi in figura indicano le ore 14.

Ma mentre la figura 7 ha gli "spicchi" costruiti con un arco orario poco accentuato, in cui ogni spicchio segna due ore, la figura 8 ha un arco più profondo, in cui ogni spicchio segna tre ore e alla seconda ora entra già in funzione lo spicchio successivo.

Nella figura 9 poi l'arco è ancora più accentuato, ogni spicchio segna 4 ore, anche qui alla seconda ora comincia a illuminarsi lo spicchio successivo.



**LA LUCE NATURALE:
GNOMONICA APPLICATA ALLE COSTRUZIONI**
GIOVANNI FLORA

ESTRATTO

Il tema della presente relazione si riferisce ad alcuni problemi, connessi alla progettazione edilizia, che riguardano l'ubicazione, l'orientamento, le distanze tra i fabbricati, la scelta e il dimensionamento degli oggetti e delle aperture delle pareti nei confronti dell'illuminazione naturale e dell'insolazione.

Il tema della presente relazione si riferisce ad alcuni problemi, connessi alla progettazione edilizia, che riguardano l'ubicazione, l'orientamento, le distanze tra i fabbricati, la scelta e il dimensionamento degli oggetti e delle aperture delle pareti nei confronti dell'illuminazione naturale e dell'insolazione.

La presente relazione non pretende di risolvere i problemi della gnomonica applicata alle costruzioni ma cerca di suscitare l'interesse dei Tecnici per le sue applicazioni pratiche.

L'arte del costruire, nei secoli passati, non ha trascurato i valori della gnomonica: La luce del sole è un bene prezioso.

Al Museo egizio di Torino, su un portale, un geroglifico riporta un tratto dell'inno al Sole:
"...Noi ti rendiamo grazie per la tua gloria immensa o Re del cielo..."

Ad Abu-Simbel, in Egitto, un raggio di sole nascente penetra nella tomba e, attraverso un lungo corridoio, illumina la statua di Ramesses II° ad una data precisa e ricorrente.

Il calcolo operato dal Costruttore di quel tempo è forse l'esempio più antico di gnomonica applicata alle costruzioni.

Nel corso dei secoli tale scienza, che studia la proiezione della luce naturale, è stata considerata fondamentale nelle progettazioni.

Lo vediamo nella realizzazione dei portici che consentono la penetrazione del sole nei mesi invernali mentre proteggono i locali interni nei mesi estivi.

Lo possiamo anche notare nelle zone montuose o collinari dove la scelta dei centri abitati tiene conto del massimo periodo di insolazione e preferisce quindi le vallate con andamento Est-Ovest.

In questi luoghi viene normalmente abbandonato il fondovalle, anche se più comodo, e si costruiscono i caseggiati sui versanti insolati, opposti alle cime verso Sud. Queste cime, quali immensi gnomoni, proiettano la loro ombra e dalla loro ubicazione rispetto al villaggio principale, assumono il nome delle ore (cima 10, cima 11 ecc.)

Cerchiamo di analizzare alcuni esempi di costruzioni lasciatici dai nostri predecessori:

- Da venti secoli sulla muratura cilindrica del Pantheon a Roma ruota un fascio di luce proiettata da una finestra, di nove metri di diametro, aperta in sommità della cupola.
- Le nicchie ricavate nella muratura vengono progressivamente illuminate dalla luce naturale di questo grande faro.
- La luce non è statica ma è viva perché procede ed è indice del tempo.
-
- A Castel del Monte in Puglia, fatto costruire da Federico II° di Svevia, il lato Sud della muratura ottagonale che racchiude il cortile interno, agli equinozi proietta la sua ombra alla base della parete opposta e al 21 febbraio e 21 ottobre delimita la larghezza delle stanze che compongono il castello.
-
- A Serra S. Abbondio, sui monti Catria dell'Appennino Umbro-Marchigiano si trova l'Abbazia di S. Croce di Fonte Avellana.

E' un eremo antichissimo ma la costruzione, attualmente visibile e recentemente restaurata, risale ai primi anni del secolo XI° e si compone di alcuni edifici tra i quali lo scriptorium: un esempio emblematico di gnomonica applicata alla costruzione.

Il Matematico e Gnomonista Prof. Alberto Cintio così ce la descrive:

"La luce consentita dalle monofore che si trovano alte sulle pareti Est e Ovest può penetrare nella sala ma non colpisce mai il piano di lavoro degli

amanuensi ed è diffusa perché si riflette sulla muratura rocciosa della parete opposta. Nelle stagioni di maggior insolazione la luce del sole non penetra direttamente nella sala perché le monofore hanno poca larghezza mentre le pareti hanno notevole spessore accentuato anche da piccoli sporti sia all'esterno della parte alta del foro, sia all'interno del davanzale. Quindi la luce arriva nella sala regolata e diffusa...."

Gran parte dell'architettura abitativa tradizionale, e in particolare quella delle ville venete, privilegia un locale sviluppato in profondità ma anche in altezza, cioè un ambiente principale attorno al quale ruotano i locali di minor importanza o di servizio, locali che possono avere un'altezza inferiore ma che trovano respiro dalla sala dalla quale derivano.

Questa sala è normalmente finestrata ad altezza d'uomo ma è anche dotata di finestre che si aprono alla sommità delle murature perché solo questi fori, più alti verso Sud, meno alti quelli laterali verso Est o verso Ovest, consentono la penetrazione della luce fino all'estremità interna del grande locale. Andrea Palladio è chiamato l'Architetto che cattura e conserva la luce.

Ho citato esempi antichi ma anche ai nostri giorni possiamo ammirare progetti dove il rapporto tra architettura e luce è stato sapientemente rispettato. Il progettista giapponese Tadao Ando così commenta una sua importante realizzazione:

...."Ho tagliato un'apertura in una parete permettendo alla luce di penetrare in condizioni rigorosamente vincolate.

In quel momento un dardo di luce ha bruscamente frantumato l'oscurità.

Parete, pavimento e soffitto hanno intercettato la luce e la loro esistenza è stata rivelata nel momento in cui tutti insieme hanno iniziato a rimbalzare avanti e indietro la luce riflessa, avviando infinite e complesse interrelazioni.

Era nato lo spazio.

E ancora, ad ogni incremento o mutamento dell'angolo di penetrazione della luce, l'essere delle cose e le loro interrelazioni vengono ricreati. Lo spazio, in altri termini, non arriva mai a maturare, ma è costantemente reso nuovo.

Queste considerazioni nel progettare sono sempre state preziose e lo sono ancora perché la luce naturale, con le sue mutevoli proiezioni, evidenzia gli elementi architettonici e rende viva una costruzione.

Ogni fabbricato in elevazione proietta un'ombra, ha le sue coordinate geografiche, il suo orientamento azimutale e la sua altezza. La luce naturale lo proietta nel suo quadrante solare.

E' quindi possibile valutare gli effetti di tali proiezioni sia sotto l'aspetto dell'urbanistica, sia sotto quello particolare costruttivo.

Lo studio appare importante sia nel caso che si desideri evitare l'ombra, sia nel caso che si voglia utilizzarla, sia che si desideri utilizzarla limitatamente ad alcuni mesi dell'anno o in certe ore del giorno.

Tempo fa, il Comune di Lignano non rilasciava la concessione edilizia per la costruzione di un condominio frontemare perché temeva potesse proiettare ombra sull'arenile nel periodo dal 1 giugno al 30 settembre nelle ore dalle 9 alle 17. Il problema si è potuto risolvere con calcolo gnomonico considerando il fabbricato come uno gnomone verticale e determinando il quadrante solare sul piano orizzontale dell'arenile.

Per quanto riguarda gli sporti del tetto, i cornicioni, i poggioli, i porticati ecc. i progettisti li determinano normalmente secondo esigenze estetiche ma è anche importante che vengano considerati in relazione ai valori dell'ombra che gli stessi vengono a proiettare sulle strutture e sui fori sottostanti.

E' indubbio che se tali elementi fossero calcolati in modo da osservare le leggi naturali, il risultato sarebbe, oltre che valido sotto l'aspetto dell'insolazione, anche valido sotto quello dell'armonia estetica perché tutto ciò che risponde alle leggi naturali acquista questi valori.

Il problema appare anche più evidente quando si tratta di posizionare e dimensionare un foro finestra.

Determinare la posizione e le dimensioni di ogni singolo foro o sporto equivale considerarli nella loro altezza gnomonica e trovare rispettivamente l'ampiezza dell'ombra proiettata dalle sporgenze della parete oppure la penetrazione della luce in un locale secondo le regole normalmente usate per la costruzione degli orologi solari.

I Progettisti usano talvolta tracciare questi quadranti solari:

sia perché costituiscono un elemento decorativo di prestigio, specialmente se vengono arricchiti da esecuzioni pittoriche accurate e da una corretta collocazione nel contesto architettonico, sia perché evidenziano con un grafico come avvengono le proiezioni del sole su una parete nel corso del giorno come nel corso dell'anno.

Le proiezioni d'ombra provocate da elementi architettonici sporgenti sono in proporzione diretta con le dimensioni rilevabili su un quadrante solare. Ad esempio, se alla meridiana calcolata per una parete è stato assegnato uno stilo gnomonico che

sporge di una certa misura, potremo misurare verticalmente a partire dall'orizzontale passante per il piede dello gnomone le altezze d'ombra che esso determina alle varie ore del giorno e nelle diverse stagioni.

Si potrà quindi ottenere, in proporzione diretta e alle varie ore e stagioni, l'altezza dell'ombra proiettata da un poggolo o da un cornicione sporgenti dalla stessa parete.

Altrettanto facilmente, e sempre con proporzione diretta, avendo calcolato una meridiana orizzontale per la latitudine e longitudine di un luogo qualsiasi potremo constatare la proiezione della luce solare consentita da un foro finestra.

Ad esempio, se la meridiana è stata calcolata per uno gnomone alto 50 cm da terra si potrà misurare che alle ore 12 del 21 dicembre proietta a cm 130 dal suo piede e quindi in proporzione un foro finestra alto 200 cm dal pavimento alle ore 12 della stessa data, proietterà la luce del sole a cm 520 entro il locale.

L'illuminazione di una finestra oppure l'ombratura di un cornicione si possono determinare anche con l'uso pratico di un modello di meridiana calcolato per piano orizzontale e per la latitudine e longitudine di un luogo qualsiasi.

Tale modello può essere utilizzato con discreta approssimazione anche per la zona circostante il suddetto luogo.

Questo metodo è stato presentato nella scorsa primavera ad un folto gruppo di Costruttori della Provincia di Padova che avevano particolare sensibilità e interesse per il problema

Caso A: illuminazione di una finestra

1a) adattare il modello alla scala usata nella pianta della stanza di interesse, ovvero (utilizzando una fotocopiatrice) ridurre od aumentare le dimensioni del modello di meridiana finché la lunghezza dell'altezza gnomonica "G", riportata come segmento nel modello, risulti pari all'altezza della finestra (per esempio del centro della finestra) rispetto al pavimento. Per esempio se il centro della finestra si trova a quota 2 m e la pianta della stanza è in scala 1:100 allora si dovrà ridurre le dimensioni del modello finché il segmento G risulti lungo 2 cm.

2a) A questo punto fotocopiare il modello su un lucido trasparente e sovrapporlo alla pianta orientando il suo asse Nord-Sud parallelamente a quello geografico normalmente riportato sulle piante progettuali. Traslare il lucido posizionando il piede dello gnomone (punto "C"), ovvero l'intersezione delle due rette Nord-Sud ed Est-Ovest, in corrispondenza del centro della finestra.

3a) A questo punto abbiamo ottenuto sulla pianta una meridiana a piano orizzontale il cui gnomone coincide con la finestra. Possiamo così direttamente vedere alle

varie ore del giorno e per le diverse stagioni dell'anno il punto (chiamiamolo punto "S") del pavimento che viene illuminato dal raggio di sole che passa per il centro della finestra.

4a) Qualora il raggio di sole che passa per il centro della finestra vada a cadere (all'ora di interesse) in un punto "S" fuori della stanza, cioè oltre una parete, possiamo concludere che a quell'ora e in quel giorno il sole illuminerà quella parete (anziché il pavimento) in un punto "I" della pianta dato dall'intersezione della retta "C-S" con il muro ed ad un'altezza dal pavimento "h" data da:

$$h = G \cdot (S-I)/(S-C)$$

dove S-I è la lunghezza del segmento che va da "S" a "I" ed analogamente per S-C.

Caso B: ombratura di un cornicione

1b) Come nel caso precedente, fotocopiare il modello di meridiana su un lucido ma questa volta senza alcuna riduzione. Sovrapporre il lucido alla pianta dell'edificio.

2b) Come nel caso precedente, orientare la retta Nord-Sud del modello parallelamente a quella della pianta e posizionare il piede dello gnomone "C" in corrispondenza di un qualsiasi punto P dello sporto del cornicione per il quale si vuole conoscere l'ombratura.

3b) Possiamo ora immediatamente vedere sulla pianta in quale punto "I" della parete, sottostante il cornicione, cadrà l'ombra del punto P dello sporto alle varie ore e alle varie stagioni: "I" è dato dall'intersezione della parete (nella pianta) con la retta C-S del modello, dove "S" rappresenta l'ora e la data di interesse per la quale vogliamo conoscere la posizione dell'ombra di quello spigolo del cornicione (se necessario prolungare la retta S-C finché intersechi la parete).

4b) L'altezza "h" a cui cade l'ombra rispetto al piano del cornicione è data da:

$$h = G \cdot (I-C)/(S-C)$$

dove G=3cm, S-C è la distanza tra i punti C ed S misurata in cm sul modellino e infine I-C è la distanza tra i punti C ed I misurata sulla pianta secondo la sua scala.

Nei nostri convegni sono stati illustrati tantissimi esempi importanti di meridiane, abbiamo indagato ogni loro particolare, ogni metodo di calcolo, ogni curiosità storica, tecnica o artistica ma Gnomonica non è solo una gloria del passato.

Gnomonica è viva, Gnomonica è presente.

Lo avvertiamo non appena ci confrontiamo con la luce del sole, la sentiamo nelle nostre case, nella nostra vita. La ritroviamo in modo particolare nell'entusiasmo che ci anima quando realizziamo le nostre meridiane.

PRESENTAZIONE DI "PHOEBUS"
PROGETTAZIONE DI OROLOGI SOLARI PER WINDOWS
ANTONIO GIORGI

PROGRAMMA DI CALCOLO E

ESTRATTO

Phoebus è un programma di calcolo e progettazione di orologi solari per Windows 95/98/2000/NT. L'autore, nel suo intervento di 10-15 minuti, intende illustrare agli gnomonisti informatizzati (forse ormai la maggioranza?) la ricca dotazione di funzioni di Phoebus la sua facilità d'uso e la sua precisione, avvalendosi dell'attrezzatura informatica presente (computer+videoproiettore). Alla fine del suo intervento l'autore distribuirà gratis agli interessati copie dimostrative del programma

PHOEBUS

Programma di calcolo e progettazione di orologi solari
per Windows

Nota per il lettore

Questa relazione e la versione del programma che essa tratta sono state redatte ai primi di settembre 2000. È assai probabile che quando leggerai queste pagine il programma si sia evoluto, arricchendosi di nuovi comandi e di nuove funzioni: in quel caso questa relazione risulterà, almeno in parte, incompleta o superata.

Descrizione del programma



Caratteristiche

Phoebus è un programma per calcolare e progettare orologi solari piani, ad angolo orario, ad ore moderne, italiane e babiloniche.

Esso ti consente di realizzare brevemente e col minimo sforzo orologi infallibili; è sufficiente fornirgli quei pochi parametri indispensabili ed in pochi secondi avrai l'orologio calcolato e disegnato!

Dedica il tuo tempo prezioso e le tue energie alla progettazione grafica del quadrante, lasciando al programma il duro lavoro di calcolo!

Phoebus gestisce ogni caso di orientamento del piano dell'orologio, dal caso generale dell'orologio inclinato ai casi particolari di quello orizzontale, verticale, polare o equatoriale.

I dati necessari al calcolo sono:

- la *latitudine* del luogo di destinazione dell'orologio;
- le *caratteristiche angolo-metriche* del piano (*inclinazione* e *declinazione*) e dello *gnomone* (*ortostilo*).

In aggiunta ai parametri fondamentali puoi specificarne altri per così dire opzionali, come:

- la *longitudine* del luogo (se vuoi l'ora civile del fuso, anziché quella locale);
- la *correzione per il tempo medio* (se vuoi l'ora convenzionale civile anziché quella solare, vera ma non costante);

- la *correzione in longitudine* (se vuoi l'ora civile del fuso, anziché quella locale);
- le *linee diurne* (per usare l'orologio anche come calendario);
- il *motto* (per commentare il significato del tempo e della vita);
- le *note descrittive* (se vuoi appuntare dettagli, accorgimenti tecnici, informazioni d'ogni natura).

Una volta calcolato l'orologio, potrai vederne i risultati sia in forma numerica, come elenco di coordinate cartesiane e polari dei punti-chiave, sia in forma grafica, nell'anteprima a video. Ovviamente puoi salvare l'orologio calcolato in diversi formati e stamparlo su carta.

Se usi programmi di CAD troverai di grandissima comodità poter stampare l'orologio a grandezza naturale su carta o su lucido, da dare poi al pittore, al marmista, al ceramista, ecc. per ripassarlo senza fatica, ma soprattutto senza sgarrare di un millimetro!



La collage di schermate del programma



Istruzioni-lampo: come si calcola un orologio?

Se sei un nuovo utente e ti trovi un po' disorientato nel tuo primo approccio con Phoebus, niente paura: ecco i 6 semplicissimi passaggi¹ da seguire per calcolare il tuo orologio in pochi secondi.

1. Inizierai come prima cosa ad indicare a Phoebus le *coordinate geografiche* del luogo dove realizzerai l'orologio: seleziona perciò la prima scheda, cliccando sulla relativa icona, e digita le informazioni richieste. (Vedi *Coordinate del luogo* per maggiori informazioni)
2. In seguito dovrai indicare a Phoebus le *caratteristiche del piano e dello stilo*, tramite la seconda scheda, aiutandoti magari con la funzione automatica di calcolo della *declinazione del piano*, e potendo in aggiunta conoscere le *effemeridi del Sole*. (Vedi *Dati angolo-metrici del piano* per maggiori informazioni)
3. Scegli quindi se far correggere o meno a Phoebus le *ore vere* calcolate in *ore medie*, con l'*equazione del tempo* o le *lemniscate*. (Vedi *Correzione tempo medio* per maggiori informazioni)
4. Decidi poi se far calcolare a Phoebus le *ore locali* o quelle di un *fuso di riferimento*, specificandone eventualmente la *longitudine*. (Vedi *Correzione in longitudine* per maggiori informazioni)
5. Infine segnala a Phoebus il *passo delle linee orarie* e se far lavorare l'orologio anche come *calendario*, scegliendo in quest'ipotesi quali e quante *linee diurne* (corrispondenti a date lungo l'anno) far tracciare. (Vedi *Linee orarie e linee diurne* per maggiori informazioni)
6. Operazione finale ed istantanea: fai *calcolare* a Phoebus l'orologio così impostato. (Vedi *Risultati* per maggiori informazioni)

Fatto!

Impostazione del calcolo



Coordinate del luogo

La *latitudine* e la *longitudine* del luogo per il quale prevedi la realizzazione dell'orologio solare vanno espresse in gradi e decimali, e vanno inserite col giusto segno: Phoebus considera positive la latitudine nord e la longitudine est (quest'ultima secondo la convenzione gnomonica piuttosto che secondo quella astronomica), negative la sud e la ovest.

I valori consentiti vanno da 0° a +89°9' per la latitudine, cioè praticamente tutto l'emisfero boreale, fino ad un passo dal polo nord, e da -180° a +180° per la longitudine,

¹ Le prime 5 operazioni qui descritte non devono essere necessariamente svolte in questa sequenza, sebbene appaia come la più naturale e logica: puoi svolgerle in qualsiasi ordine, tanto non hanno effetto finché non viene svolta l'ultima operazione, la 6ª, che è il calcolo vero e proprio, e che ovviamente proprio per questo deve essere l'operazione conclusiva.

cioè dall'antimeridiano di Greenwich a se stesso, compiendo un intero giro della Terra.

Nota che la longitudine assume importanza solo con orologi ad *ore del fuso* o con orologi ad *ore locali* con *equazione del tempo adattata*, mentre viene trascurata per i semplici orologi ad *ore locali*. Per questo motivo la corrispondente casella viene abilitata o disabilitata a seconda dell'opzione scelta in sede di *correzione in longitudine*. Puoi scegliere le coordinate (senza doverle digitare) da un elenco di oltre 100 note località *italiane* (capoluoghi, osservatori, ecc.), utile per rapidi controlli su luoghi diversi da quello che stai studiando.



Dati angolo-metrici del piano

Phoebus

Dati angolo-metrici del piano

Inclinazione [°]: 0 (verticale)

Declinazione [°]: -2.1 (sud-orientale)

Ortostilo: 100

Riepilogo dati

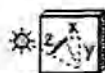
- Località: 42°51'01" N, 13°34'29" E
- Piano verticale (0°/00', sud-orientale (-2°,10'), con ortostilo da 100
- Ore vere (+ lemniscate) → ore medie del meridiano 15°00'00" E
- Linee orarie: una ogni 15 minuti - Linee diurne: 9 (7 zodiacali, 0 mensili, 0 di ore intere, 2 personali)
- Parlo con l'ombra, tacco con l'ombra
- Orologio di casa mia, sopra l'ingresso, sulla strada

Valori per impostare l'orientamento del piano dell'orologio: l'*inclinazione* è l'angolo tra il piano dell'orologio e la verticale del luogo (0°=verticale, 90°=verso lo zenit, -90°=verso il nadir, ecc.), la *declinazione* è l'angolo tra la traccia formata dall'intersezione del piano dell'orologio col piano orizzontale e la direzione est-ovest del luogo (0°=verso sud, 90°=verso ovest, -90°=verso est, ecc.), l'*ortostilo* è la sporgenza dello stilo misurata perpendicolarmente al piano dell'orologio (da quest'ultima misura² dipendono le dimensioni dell'intero organismo³).

In mancanza di conoscenza diretta della declinazione Phoebus può ricavare questa misura da osservazioni effettuate con un *declinometro*.

² Puoi usare l'unità di misura che preferisci: millimetri (consigliati), centimetri, pollici, palmi, ecc. Naturalmente considererai i dati calcolati da Phoebus (lunghezze, distanze, coordinate, ecc.) espressi con la stessa unità di misura.

³ Com'è noto, una volta dimensionato l'orologio, l'effettiva *lunghezza* dello stilo non ha grande importanza, tranne quando in presenza di linee diurne l'orologio funzioni anche da *calendario*.



Calcola declinazione del piano

Il modo migliore per misurare la declinazione di un piano (sia verticale, sia, con pochi accorgimenti, inclinato) è l'uso del *declinometro*, in pratica una tavoletta di legno con uno stilo perpendicolare.

Leggi sul declinometro le misure x dello stilo ed x dell'estensione orizzontale della sua ombra (negativa a sinistra, positiva a destra): queste forniscono l'angolo *delta* (azimut del Sole rispetto alla normale del piano).

Conoscendo l'istante in cui si effettua il rilevamento, Phoebus calcola con le formule di Meeus la posizione del Sole in cielo (*altezza* ed *azimut*), e ne ricava così la declinazione del piano.

Per una maggiore precisione puoi specificare anche l'estensione verticale y dell'ombra, sebbene non sia necessario.

Con questo semplice sistema puoi calcolare la declinazione del piano in maniera istantanea, effettuando una lettura in *qualsiasi data* ed in *qualsiasi ora*, senza ad esempio dover aspettare il transito del Sole al meridiano.

La data da fornire a Phoebus può essere una qualunque data: l'input è controllato, nel senso che non puoi immettere date inesistenti, come il 29 febbraio di un anno comune o un 31 aprile.

Puoi indicare l'ora in TU, in TMEC, o in ora "legale" (TMEC + 1).



Effemeridi del Sole

L'*ascensione retta* e la *declinazione* del Sole sono calcolate per le 0h TU della data impostata.

Phoebus può calcolare gli istanti della levata, del transito e del tramonto del Sole riferendoli al centro del disco solare (Sole "teorico"), oppure, attivando l'opzione relativa, riferendoli al bordo superiore del disco solare e tenendo conto della rifrazione atmosferica (Sole "reale"). Nota in questo caso che la levata è anticipata ed il tramonto ritardato, e che i valori di azimut perdono significato.

L'*altezza* si misura positivamente dall'orizzonte verso lo zenit, l'*azimut* da sud verso ovest (negative le direzioni opposte).

Gli istanti possono essere espressi secondo l'ora italiana (TMEC) o l'ora astronomica (TU). Inoltre, se è in vigore la cosiddetta "ora legale", si può esprimere l'ora italiana secondo questa convenzione (ovviamente non ha senso impostarla per i mesi autunnali ed invernali...).

Phoebus fornisce inoltre informazioni supplementari (durata del dì, equazione del tempo, equinozi, solstizi, ecc.).



Correzione tempo medio

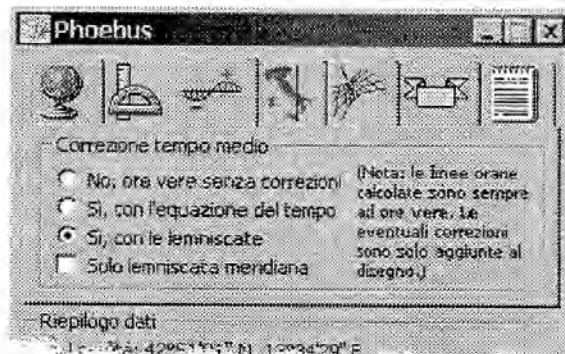
A causa dell'irregolarità dei moti combinati di rotazione e di rivoluzione della Terra, il percorso apparente del Sole in cielo, e quindi il tempo solare, non ha velocità costante.

Se vuoi, Phoebus può correggere i ritardi e gli anticipi periodici dell'orologio solare (tempo vero) rispetto a quello meccanico (tempo medio): è sufficiente conoscere per

ciascun giorno dell'anno l'entità della correzione, ed apportarla all'ora letta tra le linee.

In caso di correzione questa può essere visualizzata o sotto forma di unico grafico a sé stante, l'*equazione del tempo*⁴, o come serie di curve a 8, *lemniscate*⁵, tracciate sulle linee orarie (o sulla sola meridiana, per non affollare il disegno).

In ogni caso ricorda che le linee orarie calcolate sono sempre quelle vere: le eventuali correzioni (equazione del tempo o lemniscate) sono solo aggiunte nel disegno.



Correzione in longitudine

I 24 fusi orari nei quali è convenzionalmente divisa la Terra sono attraversati longitudinalmente ciascuno da un meridiano centrale: il I fuso orario è quello di Greenwich ed è attraversato dal meridiano 0°, il II, adottato dall'Italia, è quello dell'Europa Centrale ed è attraversato dal meridiano 15° E, e così via.

La correzione in longitudine o correzione-fuso derivante dall'eventuale differenza di longitudine tra il luogo prescelto e il meridiano di riferimento può essere considerata, per far segnare all'orologio l'ora civile del fuso (in tal caso la longitudine del luogo va necessariamente specificata), o trascurata, per fargli segnare l'ora locale (si può ignorare la longitudine del luogo).

Normalmente a questo scopo si considera come *meridiano di riferimento* quello centrale del fuso corrispondente (per l'Italia il meridiano "Etna", 15° E), ma è possibile riferirsi a qualsiasi altro meridiano: ad esempio certi antichi orologi potevano segnare l'ora di Roma e riferirsi al meridiano di Monte Mario, 12°27' E.

Se considerata, la correzione può essere "pre-calcolata" (essendo costante) ed automaticamente inserita nelle linee orarie ruotando queste opportunamente, oppure può essere apportata all'ora letta tra le linee, insieme all'eventuale correzione per il *tempo medio* ricavandola dal grafico dell'*equazione del tempo adattata*, cioè disegnata in una variante di quella standard, che consiste semplicemente

⁴ L'*equazione del tempo* viene generata solo salvando l'orologio come disegno nel formato DXF.

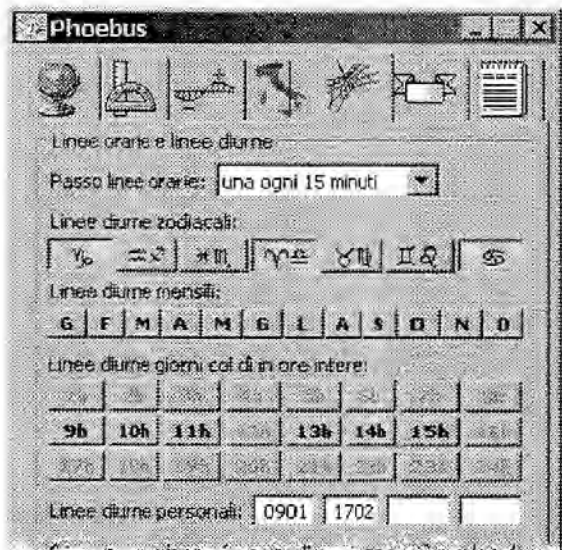
⁵ Le *lemniscate* vengono generate solo nell'*anteprima* a video o salvando l'orologio come disegno nel formato DXF. È utile, usando le lemniscate, sdoppiare l'orologio in due quadranti (estate-autunno e inverno-primavera) con le rispettive serie di semi-curve, per non confondere la lettura.

nel fatto che la linea di riferimento, 0 minuti, è traslata di quel tanto che copra la differenza in longitudine. In questo modo nell'equazione del tempo, oltre al tempo medio, Phoebus corregge istantaneamente anche la differenza fuso.



Linee orarie e linee diurne

Com'è noto i sistemi orari possono essere diversi, in conseguenza dei diversi modi di contare le ore. Tra quelli a ore uguali i più usati sono: il sistema *moderno* (o *francese*, o *tedesco*, o *astronomico*), che usiamo normalmente e che considera l'inizio del giorno, o ora 0, a metà della notte; quello *italico*, che invece fa iniziare il giorno col tramonto (o mezz'ora dopo, secondo la tradizione biblica); quello *babilonico*, che conta le ore a partire dal sorgere del Sole.



L'ora italica può essere interessante perché ci dice, per qualsiasi giorno dell'anno, *da quante ore è tramontato il Sole* (il giorno prima), e quindi, col suo complemento a 24, *quante ore di luce mancano ancora al tramonto* (del giorno corrente); viceversa l'ora babilonica ci dice *da quante ore è sorto il Sole*: interessante ancora considerare che la somma di queste due durate ci dice per ogni giorno dell'anno, addirittura in assenza di Sole, *la durata del di*. Phoebus calcola e disegna le linee orarie di tutti e tre i sistemi; nota che le eventuali *lemniscate* o *l'equazione del tempo* presenti nel disegno, così come la *correzione in longitudine*, hanno significato solo nel sistema moderno. Phoebus ti consente di stabilire il passo per le linee da tracciare sul quadrante, moderno, italico o babilonico che sia: la maggior scansione oraria dell'orologio, oltre che arricchirne il disegno (specialmente se presenti le lemniscate!), consente una maggior precisione nella lettura delle ore intermedie; puoi scegliere di disegnare da una sola linea ogni ora fino a dodici (una ogni cinque minuti). Inoltre un orologio solare può funzionare anche da *calendario*, indicare cioè oltre all'ora del giorno anche la data,

grazie alla corrispondenza praticamente costante⁶ tra la declinazione del Sole ed il giorno dell'anno.

La coordinata angolare in questione varia da un minimo di circa $-23^{\circ}26'$ ad un massimo simmetrico di $+23^{\circ}26'$, rispettivamente al solstizio d'inverno ed al solstizio d'estate (nell'emisfero boreale); durante questa "altalena" naturalmente il Sole attraversa tutte le declinazioni intermedie, ad esempio la declinazione 0° , che tocca due volte all'anno, agli equinozi di primavera e d'autunno.

Essendo costante la corrispondenza tra il giorno dell'anno e la posizione del Sole in cielo, lo sarà ovviamente anche quella con l'arco percorso dall'ombra dello gnomone (la punta dello stilo) sul piano dell'orologio: ecco dunque che tracciando sul piano archi corrispondenti a percorsi noti, cioè a date note, si può aggiungere all'orologio la funzione di calendario⁷.

Solitamente gli archi che si tracciano sul quadrante sono quelli corrispondenti a declinazioni significative, come appunto quelle dei *solstizi* e degli *equinozi*, ma anche quelle degli ingressi nei "segni" *zodiacali*, o quelle del primo giorno di ciascun *mese*, e così via, in ogni caso tutte facilmente fissabili.

Phoebus calcola sempre le coordinate dei 7 punti significativi che si trovano lungo ciascuna linea oraria (che si estenda da solstizio a solstizio), che poi tabula in formato cartesiano. Le corrispondenti 7 *linee* di declinazione, o linee diurne, possono quindi essere tracciate nell'*anteprima* a video e nel *disegno* in formato DXF: questa scelta è naturalmente opzionale, nel senso che puoi decidere di non volere alcuna linea diurna nel disegno, o di preferire ad esempio soltanto quelle solstiziali e l'equinoziale, ecc. Comunque sia, che la tracci o no, *ciascuna linea zodiacale viene sempre calcolata*.

In aggiunta Phoebus può allo stesso modo calcolare (e in questo caso automaticamente tracciare) le 12 linee diurne corrispondenti all'inizio di ciascun mese, più quelle corrispondenti alle date in cui il di duri esattamente un *numero intero di ore* (il cui numero è variabile, in funzione della latitudine del luogo), più 4 *linee personali* corrispondenti a date qualsiasi, se volessi sottolineare col Sole giorni importanti come compleanni, anniversari, ecc.

Naturalmente per selezionare queste opzioni è sufficiente premere i rispettivi bottoni, o nel caso delle linee personali, digitare le date esprimendole con 4 cifre, due per il giorno e due per il mese (es. "0901" per 9 gennaio). Al contrario, per ignorare le linee zodiacali, mensili e ad ore intere basta rilasciare i bottoni, mentre per le personali è sufficiente cancellare i campi.



Conversione linee personali

(Vedi *Formati dei file* per maggiori informazioni)

Le 4 *linee diurne personali*, in aggiunta alle 7 zodiacali, alle 12 mensili, a quelle dei di ad ore intere, possono esse-

⁶ I valori delle declinazioni sono calcolati sulla media del ciclo quadriennale.

⁷ A tale proposito ti ricordo che assume reale importanza in questo caso l'effettiva *lunghezza dello stilo*, trascurabile invece nel caso in cui manchi la funzione di calendario.

re dichiarate per sottolineare col Sole ricorrenze importanti come compleanni, anniversari, ecc.

Nella versione 2.1 di Phoebus ognuna delle linee personali era espressa direttamente con la declinazione del Sole alla data corrispondente: ciò significava per l'utente l'obbligo di conoscere la coordinata solare in questione per la data che lo interessava.

Non che ciò fosse difficile, ma poteva essere scomodo e noioso dover calcolare la declinazione del Sole (anche usando lo stesso Phoebus) o doverla cercare sugli almanacchi, quando era possibile che lo facesse il programma per noi.

Ecco perché a partire dalla v. 2.2 di Phoebus ho modificato la modalità di espressione delle linee personali: non più con la declinazione del Sole, ma con la semplice data (giorno e mese).

La data va codificata con 4 cifre: 2 per il giorno e 2 per il mese. Per esempio, il 17 febbraio va espresso come 1702.

Per date anteriori al 10 del mese sarebbe necessario lo 0 iniziale (es. 0901 per il 9 gennaio), ma puoi anche ignorarlo: è aggiunto automaticamente dal programma.

Be', questo sistema mi sembra molto più naturale, semplice ed immediato rispetto a quello precedente...

Tale miglioramento rende però necessario un piccolo aggiornamento degli orologi calcolati e salvati con la versione 2.1 di Phoebus: nel leggere un "vecchio" orologio, Phoebus ne riconosce il formato ed automaticamente propone la modifica dell'espressione delle eventuali linee diurne personali, dalle declinazioni alle date corrispondenti.



Motto

Sebbene non necessario al funzionamento di un orologio solare, il *motto* solitamente lo accompagna: il suo scopo è quello di far riflettere l'osservatore, talvolta con ironia, sul significato del tempo o della vita, così come li intende l'autore o il proprietario dell'opera.

Puoi scegliere tra oltre 640 motti (soprattutto latini) da scrivere sull'orologio, contenuti nel file MOTTI.DOC, che è un semplice file ASCII, editabile con un qualunque editor di testi, ad esempio il Blocco note.

Per tua comodità puoi ordinare i motti secondo vari criteri, in ordine alfabetico o per lunghezza, e così trovare più facilmente il motto che fa al caso tuo, se ad esempio hai spazio sul quadrante e cerchi una frase molto lunga per riempirlo.



Note descrittive

Ti può essere utile scrivere alcune note descrittive sull'orologio, memorizzabili e stampabili insieme ai dati numerici, per avere una "carta d'identità" più completa sul manufatto che vai a studiare.

Risultati di calcolo



Risultati

I risultati sono calcolati come segue:

$$\varepsilon = \arcsen(\sen i \sen \varphi - \cos i \cos \varphi \cos d)$$

$$\sigma = \arcsen\left(\frac{\sen d}{\cos \varepsilon} \cos \varphi\right)$$

$$P_{\sigma} = \arcsen\left(\frac{\sen d}{\cos \varepsilon} \cos i\right)$$

dove:

ε = elevazione dello stilo

σ = angolo sustilare

P_{σ} = angolo al polo

i = inclinazione del piano (0° = vert., 90° = orizz., ecc.)

d = declinazione del piano (-90° = est, 0° = sud, ecc.)

φ = latitudine

Per convenzione l'elevazione dello stilo è positiva per indicare che lo stilo, uscente dal piano, punta verso il polo nord celeste; è negativa per indicare che lo stilo punta al polo sud.

Nella cornice dei risultati è dichiarato innanzitutto l'orientamento del piano dell'orologio, che può essere genericamente *inclinato*, oppure *orizzontale*, *verticale*, *polare* (parallelo o contenente l'asse polare terrestre) o *equatoriale* (parallelo o contenente il piano equatoriale terrestre). Noterai che non sempre un caso esclude l'altro: ad esempio un orologio può essere verticale-polare.

Il sistema di *coordinate cartesiane* usato per tabulare i risultati e per tracciare il disegno dell'orologio può rappresentare due orientamenti diversi, a seconda del tipo di orologio: negli *orologi orizzontali* l'asse delle ascisse rappresenta la direzione est-ovest (crescenti ad est, a destra nel disegno), mentre l'asse delle ordinate segue l'asse nord-sud (crescenti a nord, in alto nel disegno); negli *orologi verticali ed inclinati*, invece, l'asse delle ascisse, anche qui orizzontale, segue la direzione perpendicolare alla declinazione del piano (anche qui crescenti verso destra), mentre l'asse delle ordinate segue la linea di massima pendenza del piano, verticale negli orologi verticali (crescenti verso la parte alta del piano, in alto nel disegno). Il sistema è centrato sulla base dello stilo.

Oltre che con le coordinate cartesiane i punti d'ombra sono espressi anche con le coordinate polari nell'output su file *TXT* e su *carta*.

I risultati sono calcolati e tabulati per i tre classici sistemi orari: quello *moderno* (o francese), quello *italico* e quello *babilonico*. Nel sistema moderno le linee orarie calcolate sono sempre quelle vere (*locali* o del *fuso*, a seconda

dell'opzione scelta), che poi possono essere eventualmente convertite in ore medie con l'equazione del tempo o con le *lemniscate*.

Mentre nel sistema moderno la tabella comprende tutte le declinazioni solari contemplate dal programma (zodiacali, mensili, a ore intere e personali), nei sistemi italico e babilonese, per semplicità, si considerano solo le 7 declinazioni zodiacali.

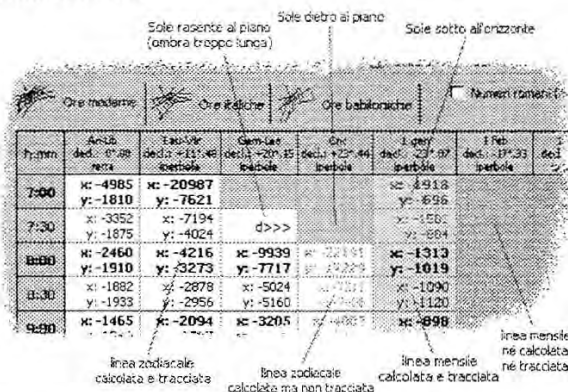


Diagram illustrating the sun's position relative to the plane and horizon for different times of day. The diagram shows the sun's path and the resulting shadow on the plane. Labels include: "Sole rasente al piano (ombra troppo lunga)", "Sole dietro al piano", "Sole sotto all'orizzonte", "Ore moderne", "Ore italiche", "Ore babiloniche", and "Numeri romani".

h:min	Arct. ded. 0° 00' retta	Equat. ded. +11° 46' equale	Gen. Let. ded. +20° 15' tropale	Or. ded. +27° 07' tropale	Equat. ded. -23° 07' tropale	Equat. ded. -17° 33' tropale	Equat. ded. -11° 46' tropale
7:00	x: -4985 y: -1810	x: -20987 y: -7521			x: 2918 y: -696		
7:30	x: -3352 y: -1875	x: -7194 y: -4024	d>>>		x: -150 y: -664		
8:00	x: -2460 y: -1910	x: -4216 y: -3273	x: -9939 y: -7717	x: 22141 y: 42229	x: -1313 y: -1019		
8:30	x: -1882 y: -1933	x: -2878 y: -2956	x: -5024 y: -5160	x: 7154 y: -7154	x: -1090 y: -1120		
9:00	x: -1465 y: -1933	x: -2094 y: -3205	x: -3205 y: -4985		x: -898 y: -1120		

Linea zodiacale: calcolata e tracciata
Linea zodiacale: calcolata ma non tracciata
Linea mensile: calcolata e tracciata
Linea mensile: calcolata ma non tracciata
Linea mensile: non calcolata e non tracciata

Le tabelle si sviluppano lungo righe, corrispondenti alle linee orarie, e colonne, corrispondenti agli archi diurni.

Le ore vanno da quella in cui il piano "si accende" a quella in cui "si spegne", con in mezzo tutte le ore intermedie secondo il passo prescelto. Le linee orarie (ore intere) sono evidenziate dai caratteri in **grassetto**, le linee sub-orarie (mezzo ore, quarti d'ora, ecc.) dai caratteri *normali*. La *meridiana* del sistema moderno, se presente, è riconoscibile dai caratteri in *corsivo*.

Sempre nel sistema moderno, l'angolo *omega* di ciascuna linea oraria esprime la direzione della stessa rispetto alla *sustilare* (proiezione dello stilo sul piano), e tiene conto dell'eventuale *correzione-fuso*. Negli orologi polari l'angolo omega è sostituito dalla distanza *D* tra la linea oraria e la sustilare: *D* è negativo per le linee delle ore che precedono l'ora sustilare, positivo per quelle che la seguono.

Ciascuna linea oraria è tabulata (orizzontalmente) per punti, corrispondenti agli incroci della stessa con gli archi diurni. Ogni *casella di dati* (punto) fornisce diverse informazioni, nella forma e nel contenuto.

Osserva innanzitutto le *colonne* di dati, corrispondenti agli archi diurni: l'intestazione di ciascuna colonna ti dice di quale linea diurna si tratta (ad es., se zodiacale, a quale segno si riferisce), quindi quale è la declinazione del Sole in quei due giorni dell'anno in cui l'estremità dell'ombra dello gnomone la percorre, infine di che tipo di curva conica si tratta.

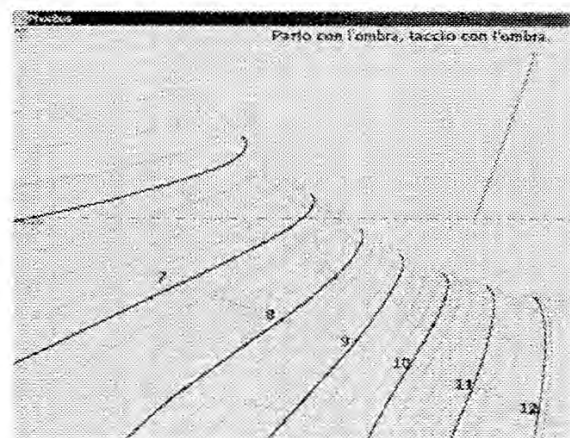
Le colonne di dati possono essere interamente vuote (riconoscibili anche dal fondo scuro), nel caso di linee diurne mensili, a ore intere o personali non considerate, quindi non calcolate, oppure, se calcolate, essere parzialmente o totalmente *piene*. In ogni caso nota che le colonne di dati relative alle 7 linee diurne zodiacali vengono sempre calcolate: in particolare se hai scelto di tracciare la corrispondente linea nel disegno, i dati nelle caselle di quella colonna saranno scritti in *caratteri neri*, altrimenti saranno scritti in *caratteri grigi*.

Più in generale, ogni punto calcolato (sia di linee zodiacali, che di linee mensili, ecc.) può presentarsi nella corrispondente casella di dati in 4 diversi modi:

1. se la casella è *vuota* significa che quel giorno (declinazione del Sole) a quell'ora il piano è *in ombra*, pertanto il punto non può essere tracciato;
2. se la casella presenta la dicitura "*d>>>*" significa che quel giorno a quell'ora la luce del Sole è rasente al piano dell'orologio, proiettando l'ombra dello gnomone a *enorme distanza*⁸ (oltre 100000 unità, cioè 100 m se usi il millimetro, 1 km se usi il centimetro, e così via), rendendo così impossibile ed inutile l'individuazione del punto d'ombra: tutt'al più, nel sistema moderno, sarà sufficiente sapere che si trova comunque lungo la direzione omega;
3. se il punto d'ombra è tracciabile, le sue coordinate cartesiane⁸ *x* e *y* ne esprimeranno la posizione rispetto al *centro* dell'orologio (base dello stilo e origine del sistema);
4. se le coordinate del punto sono scritte in *rosso* significa che il punto si trova sopra alla linea dell'orizzonte (negli orologi non orizzontali), quindi "invisibile", inservibile e senza senso ai fini gnomonico-cronometrici: se si riporta comunque la sua posizione "teorica" è perché spesso è utile la sua presenza nel disegno dello schema orario, per completare lo stesso quando occorre prolungare le linee, gli archi, quando c'è bisogno di simmetria, ecc.



Anteprima



All'apertura dell'anteprima l'orologio viene mostrato in tutta la sua estensione.

Attraverso il menu (attivabile col tasto destro del mouse) puoi quindi *zoomare* e *panoramizzare* in tutte le direzioni. Per avvicinare ed allontanare il disegno dell'orologio puoi usare oltre al mouse anche i tasti + e -, rispettivamente, per raddoppiare o dimezzare la grandezza del disegno. Inizialmente l'orologio viene visualizzato secondo il *sistema orario* correntemente selezionato nella tabella dei

⁸ Le misure lineari (lunghezze, distanze, coordinate, ecc.) sono calcolate ed espresse secondo la stessa unità di misura (millimetri, centimetri, ecc.) che hai considerato per l'*ortostilo*.

risultati (coordinate dei punti d'ombra): se ad esempio al momento della richiesta dell'anteprima stavi visualizzando le linee orarie del sistema italico, l'anteprima si aprirà sulle linee italiche.

Naturalmente, in qualsiasi momento durante l'anteprima, puoi cambiare sistema orario, passando dall'uno all'altro o visualizzandoli insieme.

Puoi nascondere o mostrare le *linee orarie*, e se presenti le *sub-orarie* e le *lemniscate*; queste ultime puoi visualizzarle intere o sdoppiandole in due stagioni per volta, per facilitare la lettura.

Così come puoi nascondere o mostrare le *linee diurne zodiacali*, *mensili*, dei di *ad ore intere* e quelle *personali*, o le intestazioni delle *ore*, che puoi esprimere sia in *numeri arabi* che in *numeri romani*, e nel *carattere* che preferisci, scegliendolo tra tutti quelli che hai installati nel tuo sistema.

Naturalmente puoi cambiare i *colori* di ogni oggetto sullo schermo, dallo *sfondo* ai *caratteri*, alle singole *linee* (orarie, lemniscate, diurne, ecc.), e delle linee orarie e delle lemniscate anche gli *spessori*.

Puoi visualizzare il *riepilogo* dei dati ed i *risultati* di calcolo; puoi *leggere* e *salvare* l'orologio o la sua immagine in diversi *formati*, *copiare* l'anteprima negli Appunti di Windows e *stamparla* su carta.

Zoomando noterai che non è possibile allargare l'inquadratura oltre l'estensione massima del disegno (non avrebbe infatti molto senso), o spingersi troppo in profondità con le *zoomate*⁹.



Stampa

Un orologio appena calcolato, oltre che salvato ed esportato in diversi *formati*, naturalmente può anche essere stampato su carta. La stampa può riguardare sia i *risultati* di calcolo, sotto forma di coordinate dei punti d'ombra, sia l'immagine d'*anteprima*.

La stampa su carta dei risultati consiste nei *dati di input* riportati per esteso, nei *risultati di calcolo* generali, e nella *tabella di coordinate* dei punti d'ombra, intersezioni delle linee orarie con quelle diurne.

Noterai che la tabella stampata è quella del sistema orario la cui scheda è correntemente visualizzata nella finestra dei risultati: se, ad esempio, stampi avendo visualizzata la tabella del sistema italico, anche la stampa conterrà la tabella di coordinate dei punti d'ombra delle linee italiche (in aggiunta ai dati di input e ai risultati di calcolo generali, sempre stampati). Questo vale anche dall'anteprima: se stai visualizzando, ad esempio, l'immagine d'anteprima del sistema babilonico, ma prima di entrare nell'anteprima avevi selezionato nella finestra dei risultati la scheda delle coordinate del sistema moderno, sarà quest'ultimo ad essere stampato.

Questa scelta nasce dalla considerazione che molto spesso quello che interessa è un solo sistema orario e che perciò non sia necessario stampare dati non richiesti (linee orarie

degli altri sistemi), che prolungherebbero inutilmente la stampa. Questo vale ancora di più quando, avendo scelto un passo orario ridotto (linee orarie ogni quarto d'ora, o anche meno), il numero di pagine da stampare cresce notevolmente, crescendo così anche lo spreco di tempo e di carta, in caso di stampa di tutti e tre i sistemi, quando invece ne interessa uno solo.

La stampa dell'immagine d'anteprima, più semplicemente, contiene ciò che vedi: la porzione di orologio inquadrata sullo schermo è quella che sarà stampata su carta (qualunque sistema visualizzi).

Le uniche scelte riguarderanno le normali opzioni di stampa: formato del foglio, orientamento, risoluzione, ecc.

A proposito del formato del foglio e del suo orientamento, noterai che, quali che siano, l'immagine da stampare manterrà sempre le sue *proporzioni* (e ci mancherebbe...): in ogni caso ti verrà proposta la massima dimensione di stampa possibile in funzione dei suddetti parametri, di dimensione che potrai ridurre, se non vorrai occupare tutto il foglio, ma certo non oltrepassare.

In ogni caso mi sento di suggerirti una *considerazione*, che mi sembra importante.

La stampa dell'anteprima andrebbe presa per quello che è: una *bozza* dell'orologio, un'anteprima, appunto, *non un disegno esecutivo*, affidabile e perfetto nel suo schema, e su cui impostare tutto il lavoro di realizzazione concreta (per questo scopo, invece, consiglio vivamente l'esportazione in CAD col formato *DXF*).

Certe stampanti, infatti, magari non perfettamente tarate, potrebbero introdurre nell'uscita su carta una distorsione dell'immagine, seppur minima, falsando le proporzioni della stessa: ad esempio, una volta stampata un'anteprima su un foglio A3 (o se sei fortunato A2 ed oltre), potresti ottenere, senza accorgertene, uno schema allungato di uno o due millimetri secondo una dimensione e schiacciato nell'altra.

Può non sembrarti molto grave, ma se farai come qualcuno, che poi ingrandisce con le fotocopie la stampa dell'anteprima, per arrivare ad ottenere il disegno esecutivo a grandezza naturale, non solo non eliminerai quella distorsione continuando a portartela dietro, ma ne introdurresti altre dovute alle operazioni di fotocopiatura, o peggio di *collage* tra i fogli, che di certo non farebbero bene alla precisione dello strumento, vanificando così l'accuratezza impiegata nel calcolo.

In definitiva, dunque, ribadirei il concetto di prima: usare la stampa dell'anteprima come base per il bozzetto ed il completamento dell'orologio con decorazioni, cornici, ecc. schizzato a mano, ma affidare poi la stampa del disegno esecutivo in scala 1:1 ad un programma di *CAD* tramite un *plotter*, sistema per sua natura ben più idoneo a queste operazioni, oppure tracciare lo schema orario direttamente sul quadro tramite le *coordinate* cartesiane o polari dei punti d'ombra.

⁹ Queste limitazioni riguardano solo l'anteprima a video, non coinvolgendo in alcun modo i risultati del calcolo o l'uscita degli stessi nei formati *TXT* e *DXF*.

Approfondimenti



Formati dei file

I formati di file che Phoebus è in grado di gestire sono 5.

- **Dati** (PBS, in lettura e scrittura), proprio formato di testo con la seguente struttura (esempio):

```
42.8503 (Latitudine)
13.5748 (Longitudine)
2 (Fuso)
2 (Lemniscate)
0 (Verticale)
-2.1 (Declinazione)
100 (Ortostilo)
1 (Non utilizzato)
3 (Linee ogni 15 min)
"LVX MEA LEX" (Motto)
"Orologio di casa mia, sopra l'ingresso, sulla strada." (Note)
.05 (Spessore polilinee ore in percentuale dell'ortostilo, per il DXF)
.03 (Spessore polilinee minuti in percentuale dell'ortostilo, per il DXF)
"-111111111000000000010000000010000010000000000" (Linee diurne)
1106 (Data personale qualsiasi)
512 (Data personale qualsiasi)
901 (Data personale qualsiasi)
1702 (Data personale qualsiasi)
```

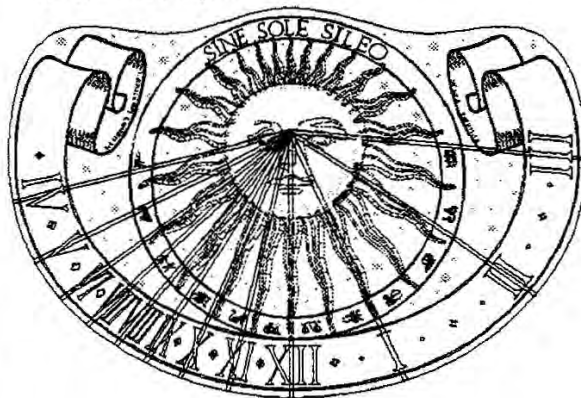
I dati di default coi quali si apre Phoebus sono contenuti nel file DEFAULT.PBS, che viene letto automaticamente ad ogni avvio del programma (un "pretesto", un modo per non far partire il programma "vuoto"). Tali dati possono naturalmente essere personalizzati: basta infatti inserire in Phoebus i dati di un tuo orologio, calcolarlo e salvarlo col nome DEFAULT.PBS; oppure, per modificare anche gli elementi "fissi", cioè non editabili (per ora, fino a questa versione) da programma, come gli spessori delle polilinee per il DXF, puoi usare il Blocco note di Windows o un altro programma di scrittura, salvando i dati in formato di testo ASCII, cioè senza formattazioni (praticamente il cosiddetto TXT), ma lasciandogli ovviamente la sua estensione, PBS.

- **Dati e risultati** (TXT, in scrittura), semplice formato di testo ASCII (senza formattazioni, universale) per esportare i risultati del calcolo in programmi di scrittura, con cui impaginarli, stamparli, ecc. Il contenuto del file consiste nei dati di input riportati per esteso, nei risultati di calcolo generali, e nella tabella di coordinate dei punti d'ombra, intersezioni delle linee orarie con quelle diurne.
- **Dati e risultati** (DXF, in scrittura), formato grafico vettoriale universale per esportare il disegno dell'orologio calcolato in programmi di CAD, con cui completarlo, stamparlo, ecc.

Gli elementi grafici salvati nel file DXF sono lo stilo (in 3D, dove il valore delta Z corrisponde all'ortostilo), le linee orarie ed eventuali sub-orarie, le eventuali lemniscate, l'eventuale equazione del tempo, le eventuali linee diurne, i dati ed i risultati generali, il motto, i simboli zodiacali.

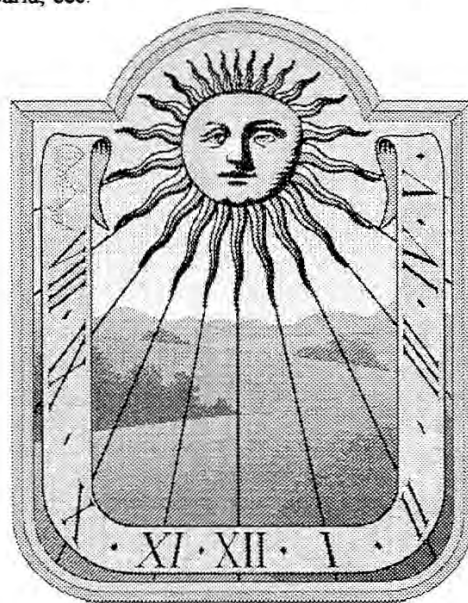
Dati e risultati sotto forma di testo vengono riportati per completezza, ma probabilmente vorrai cancellarli,

oppure lasciarli nel quadrante ma scalati/spostati/editati opportunamente, a costituire una "carta d'identità" dello stesso; così come il motto ed i simboli dello zodiaco, che una volta scorciato come vorrai il quadrante, troveranno la loro miglior collocazione: magari in alto e lungo le linee diurne zodiacali (se presenti), rispettivamente.



L'orologio appena calcolato si può salvare nel formato DXF e completare in programmi di CAD

- **Risultati** (BMP, in scrittura), formato grafico bitmap per esportare l'immagine d'anteprima dell'orologio calcolato in programmi di grafica "pittorica" (ad esempio Paint Shop Pro), con cui completarla, stamparla, ecc.



Esempio di orologio completato in un programma "pittorico"

- **Risultati** (CLP, in scrittura), formato standard di Windows per gli appunti con cui trasferire informazioni da un'applicazione all'altra: l'immagine d'anteprima dell'orologio viene copiata in memoria e può essere incollata in qualsiasi documento aperto in un altro programma, ed inoltre può essere visualizzata e salvata tramite il Visualizzatore Appunti (accessorio di Windows).

I quadranti d'altezza della famiglia della cosiddetta "CAPPUCCINA"

Alessandro Gunella

Estratto

In questo articolo l'autore, seguendo il suo solito indirizzo, si propone di individuare l'intuizione geometrica che ha originato la costruzione degli orologi di cui al titolo, e di spiegarne gli sviluppi.

Un insigne matematico del 400, Johann Peter Müller (1436-1476) da Königsberg (oggi Kaliningrad), più noto come Regiomontanus, ha contribuito in modo eminente al passaggio dal Medioevo al Rinascimento, portando novità incisive nel campo scientifico e preparando la via ai successori del 500 e ancor più del 600. La Gnomonica lo vanta fra i suoi "adepti" per l'ideazione di un orologio d'altezza "universale", in grado cioè di dare l'ora solare in qualsiasi momento, a qualsiasi latitudine. Altri hanno costruito delle varianti, ma il merito, (poca cosa, forse, rispetto alla vastità dei suoi interessi) è interamente suo.

Nel 1523 un altro matematico poliedrico, Pieter Bienewitz, detto Petrus Apianus, noto per le sue qualità, ma forse meno rilevante che non il suo predecessore, pubblicava un libro: *Horoscopium*. Descriveva uno strumento che si potrebbe definire il *reciproco* di quello del Regiomontanus, identico negli scopi. (Una prima formulazione di questo orologio andrebbe però attribuita allo Stabius, circa 35 anni addietro.)

Più tardi, e la cosa è poco spiegabile, apparvero degli orologi più semplici di quelli dei due studiosi citati: erano validi per una sola latitudine. Oggi sono noti come *cappuccine*, per via di un disegno assai suggestivo che si trova in un'opera di Ozanam, della fine del 600: *Amusements mathématiques*.

Interessarsi oggi, dopo che lo hanno fatto in molti, di questi orologi, è un poco come scoprire il solito vaso con il manico a sinistra. Intendo tuttavia cercare, e possibilmente trovare, l'intuizione, l'origine *logica*, la scintilla che ha dato il LA alla costruzione pratica di questo genere di *Horologi*. Ritengo che essa non vada cercata in particolari considerazioni matematiche, anche se per mezzo della Trigonometria se ne può dimostrare con facilità la correttezza teorica, e riconosco che, volendo costruire uno di questi strumenti, è meglio ricorrere quest'ultima piuttosto che a tecniche puramente grafiche.

L'origine vera, però, va cercata nello strumento geometrico più vecchio mai inventato per lo studio degli orologi solari: l'*Analemma*. Dobbiamo aggiungere anche un *derivato* dall'*Analemma*, il *Maeneus*, detto *radio* da alcuni trattatisti del 600. Si tratta quindi di un problema di geometria euclidea, con qualche piccolo sfondamento in considerazioni non puramente "Euclidee".

Considerazioni di base - l'*Analemma*.

Probabilmente per qualcuno, non ancora esperto in questi argomenti, occorrerà spiegare brevemente che cosa sia l'*Analemma*. Chi lo conosce, nei pregi e nei limiti, salti il paragrafo.

L'*Analemma* è la proiezione ortogonale del cielo (immaginato sferico), per un osservatore che lo veda (da una distanza infinita, ovviamente) stando esattamente ad

Est, o ad Ovest: è la proiezione di metà sfera, se vogliamo di entrambe le metà della sfera, sul piano del Meridiano locale. Si tratta di una rappresentazione simbolica, rimaneggiata e integrata con felici intuizioni geometriche, al fine di ottenere delle notizie, angoli e direzioni, valide per tutta la volta del cielo; è un *giocattolo* geometrico che rappresenta in una sola figura sezioni e ribaltamenti vari. Il suo impiego richiede una certa fantasia, cui bisogna fare il callo. Non per nulla vi è stato chi lo ha modificato, fino a farne uno strumento, una specie di *Astrolabio universale*, adatto a qualsiasi latitudine. (Arzachel - circa 1070 e poi Rojas e Gemma Frisius - metà del 500)

Il cielo è considerato una Sfera di raggio OR, e rappresentato (FIG. 1) con il semicerchio RSMQP. Si ha dunque la rappresentazione di quello che accade dentro un quarto, o al massimo mezza sfera, quella che sta al disopra del nostro orizzonte. La figura è resa apparentemente complessa dal fatto che contiene in sé anche dei ribaltamenti. L'altra metà della sfera, rappresentata dal cerchio QTR, è la metà notturna, al disotto dell'orizzonte. L'*Analemma* è in grado di fornire nozioni anche per questa parte, non visibile, del cielo.

Il punto O è la Terra, o, forse meglio, il punto della Terra per il quale vogliamo fare i conti. La dimensione della Terra non ha importanza; la si può considerare un punto, o l'intero cerchio massimo di cui la retta QOR è la proiezione, indifferentemente. QOR è la proiezione dell'orizzonte locale.

La retta OS è la proiezione dell'equatore celeste, rappresentato per la parte diurna, che emerge dall'orizzonte. OT ne è la parte notturna.

Sono rette che rappresentano ovviamente dei cerchi: e sono cerchi massimi della sfera celeste. Quindi il punto O è insieme la proiezione del centro della sfera, del punto Est e del punto Ovest.

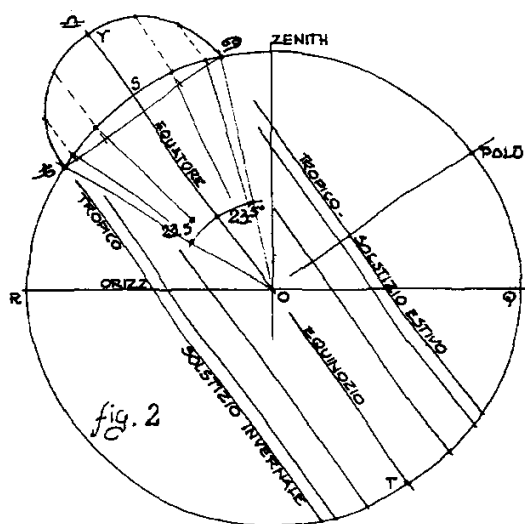
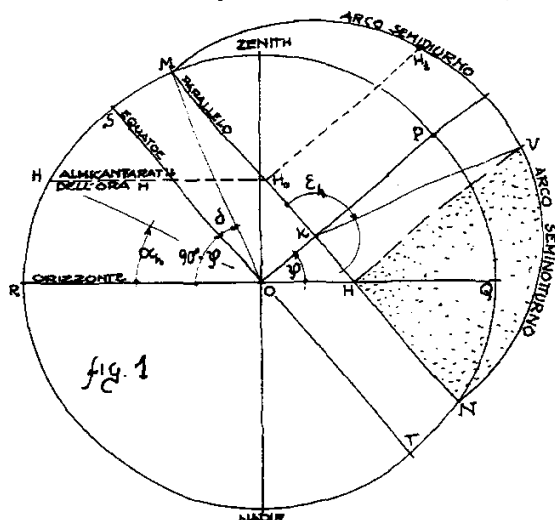
L'arco RSMT è il meridiano locale, ma può assumere anche la funzione di *referente* di un meridiano qualsiasi, che viene sovrapposto al meridiano locale per *rotazione* intorno all'asse verticale del luogo, quando è necessario. Il punto P è la stella Polare.

La retta MKHN è la rappresentazione in proiezione del percorso del Sole nel giorno in cui la sua declinazione rispetto all'equatore è δ . Sappiamo che il valore di δ varia fra $-23,5^\circ$ e $+23,5^\circ$. Poiché nella Fig. 1 il parallelo del Sole è più alto dell'equatore celeste, quello è un giorno *estivo*.

Il punto M è il cosiddetto mezzogiorno, punto di culminazione del Sole in quel giorno. Esso si trova ovviamente sul meridiano locale. L'arco RM è l'altezza massima del Sole in quel giorno, e corrisponde, come è noto, alla

somma di due valori: il complemento della latitudine e la declinazione δ .

Il tempo impiegato dal Sole, dal suo sorgere in H al raggiungimento del mezzogiorno, è detto arco semidiurno. E qui, nella rappresentazione dell'Analemma, si fa il ribaltamento: il cerchio MVN, di raggio KM, è il ribaltamento dell'arco semidiurno ϵ_h del percorso del Sole. Suddiviso in archi di 15° ciascuno, esso rappresenta la posizione del Sole nelle varie ore eguali del giorno (suddividendo secondo criteri appropriati l'arco diurno si possono fare tutte le varianti previste dai vari sistemi orari, ma per



questo studio ci servono solo le ore eguali).

Se proiettiamo i punti orari come H_1 sulla retta MKH (la tratteggiata H_1H_0), otteniamo la proiezione delle posizioni del Sole, allo scadere delle ore, sopra il piano in cui esso si muove in quel giorno (è un piano per modo di dire.).

La linea H_0H , parallela alla linea d'orizzonte, è la linea d'altezza del Sole nel momento H , e si chiama Almican-

rath. In altri termini, il Sole si trova sulla sfera in H_1 , ma si proietta in H_0 , e H_0 non è molto utile per i nostri scopi, almeno in questo caso. Se immaginiamo di ruotare intorno all'asse zenitale il meridiano in cui esso si trova effettivamente, fino a raggiungere l'arco RM; tracciamo con il punto H_0 un parallelo all'orizzonte locale, che unisce tutti i punti del cielo visti con lo stesso angolo d'altezza rispetto all'orizzonte. In questo modo possiamo misurare l'altezza del Sole leggendo l'angolo α_h , nella posizione che ci è comoda (in realtà l'unica possibile), cioè sopra il meridiano locale. E tanto basti, per ora, anche se la illustrazione delle qualità dell'Analemma è solo a metà.

Un'altra figura dell'Analemma, più generica e, se vogliamo, più generale, più vicina al concetto astronomico della rappresentazione del cielo, è quella data dalla FIG. 2: le parallele all'equatore sono paralleli di declinazione del Sole al momento del passaggio dell'astro dal campo di un segno zodiacale a quello del successivo. I campi sono 6, perché vengono percorsi due volte durante l'anno, una a salire e una a scendere. La figura del settore circolare $\angle S^0O$, con le sue suddivisioni, è una delle figure fondamentali, ben nota a qualsiasi gnomonista che voglia tracciare graficamente le curve di declinazione sopra un quadrante, ed è il MAENEUS o radio solare.

Facendo ora riferimento alle Fig. 3, 4 e 5, che illustrano la trattazione delle linee orarie, ma sono del tutto simili alla FIG. 1, si presti attenzione alle linee degli Almicanrath, le tratteggiate parallele all'orizzonte, indicate con m, a, b, c , ecc.: esse sono le altezze del Sole allo scadere delle varie ore uguali locali. Esse sono la chiave del nostro problema.

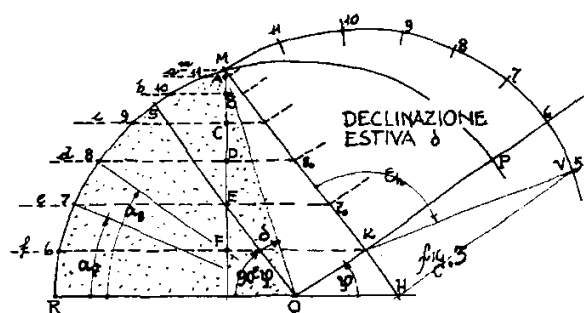
La Cappuccina

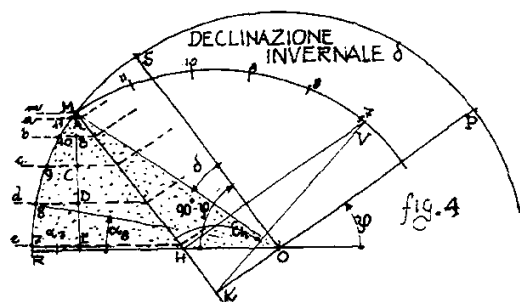
Le FIG. 3, 4, 5 sono le rappresentazioni con l'Analemma (volutamente tutte e tre con lo stesso raggio OR) di tre situazioni, rappresentative di tutte le possibili posizioni del Sole:

La Fig. 3 si riferisce al Sole con angolo di declinazione $+$ δ . Si tratta di una situazione estiva generica, in quanto δ può variare da 0 a $+23,5^\circ$

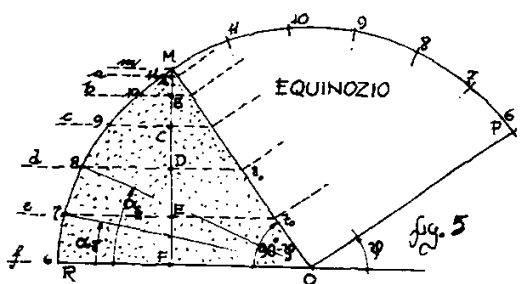
La Fig. 5 si riferisce al giorno dell'Equinozio: $\delta = 0$

La Fig. 4 si riferisce al Sole con angolo di declinazione $-$ δ ; il valore assoluto dell'angolo è stato volutamente mantenuto uguale a quello di Fig. 3. Anche qui si tratta di una situazione invernale generica, con δ variabile da 0 a $-23,5^\circ$.





Nelle tre figure è stata tracciata una perpendicolare agli Almicantharath, e su di essa si sono segnati i punti



M, A, B, C, D ecc.

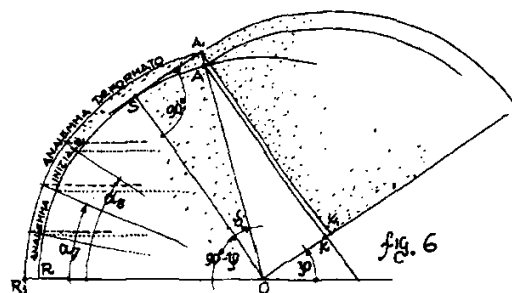
Farei torto al lettore, comportandomi come il mio (più noto) predecessore Cristoforo Clavio, a spiegare il motivo per cui sono costanti i rapporti MA/MB , MA/MC , MA/MD eccetera. Però ritengo necessario osservare che nella fig. 5 le distanze MA , MB , MC ecc. sono uguali alle analoghe della fig. 3, perché gli angoli δ sono uguali, mentre le distanze analoghe nella fig. 4 sono un poco maggiori, perché l'angolo δ è nullo. Vorrei evitare di tirare in ballo la trigonometria, per non *inquinare* l'atmosfera euclidea, ma non trovo di meglio, per spiegarmi, che affermare che le dimensioni dei segmenti di cui trattiamo dipendono da $\cos \delta$, che è il rapporto fra il raggio KM del cerchio del percorso del Sole e il raggio del cerchio dell'equatore. In altri termini, se volessimo sovrapporre gli

Almicantharath delle fig. 3 e 5 a quelli della fig. 4, dovremmo *dilatare* proporzionalmente le due figure fino a quando il raggio KM sia lungo quanto l'equatore OS , che è uguale al raggio OM della fig. 4. (Allungare il cateto KM fino a quando sia uguale alla ipotenusa OM).

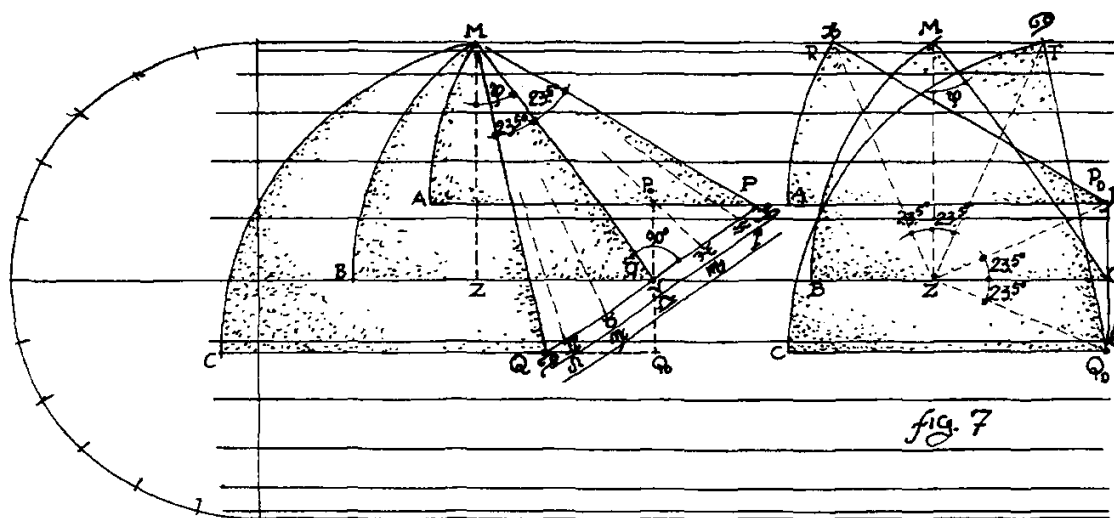
Nella FIG. 6 si illustra appunto il processo di dilatazione: il settore ARO si dilata in A_1R_1O . Perché il cerchio di raggio AK si è espanso in $A_1K_1 = OS$. Si ottiene in pratica un settore più grande, di raggio OR_1 , che però conserva i rapporti dimensionali e angolari con il settore originario.

Un'ultima osservazione: I rapporti fra le distanze reciproche degli Almicantharath dipendono esclusivamente dalle proiezioni dei punti orari (delle ore eguali locali! Stiamo parlando di strumenti medievali, o al massimo rinascimentali, e i concetti di ora media, ora di fuso, ecc... sono di là da venire) sul raggio MK . Tali rapporti quindi sono sempre costanti: se una distanza si riduce, anche le altre si riducono in proporzione. Inoltre sono rapporti che non dipendono né dalla declinazione né dalla latitudine.

A questo punto possiamo permetterci di rovesciare il problema, disegnando degli Almicantharath generici, ottenuti proiettando archi multipli di 15° sul diametro di

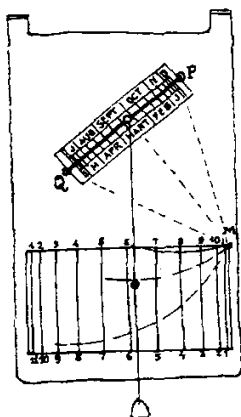


un cerchio qualsiasi (FIG. 7); poi tenteremo di riportare su tale schema i tre settori punteggiati delle figure 3, 4, 5, dilatando opportunamente i raggi ove necessario. Operiamo in modo che i tre settori abbiano in comune il mezzocielo M . (FIG. 7- disegno a sinistra):



l'arco MBO è derivato dalla Fig. 4: BO si trova sulla linea centrale, perché siamo all'equinozio, e le ore per percorrere un semiarco diurno sono esattamente 6. In particolare si noti che l'angolo ZMO vale la latitudine per cui abbiamo tracciato l'Analemma.

la retta MP, se riferita al solstizio, formerà con MO l'angolo di declinazione massimo, $23,5^\circ$. La sua lunghezza, per via di tutta la chiacchierata sulle dilatazioni, sarà l'ipotenusa di un triangolo rettangolo di cui MO è il cateto (ci si richiama alla Fig. 6).



analogo discorso può essere fatto per MQ e la Fig. 3.

In altri termini, QP è perpendicolare a MO, e $OP = OQ$. Inoltre, se su MQOP si dispone il Maeneus, e si prolungano le sue linee fino alla retta QP, su quest'ultima si possono tracciare le direzioni corrispondenti alle declinazioni del Sole di ogni giorno dell'anno: il calendario.

I settori evidenziati sono quelli corrispondenti alle

situazioni "estreme", ma è ovvio che ad ogni giorno generico corrisponderà un settore diverso.

Si è così ottenuta la CAPPUCCINA.

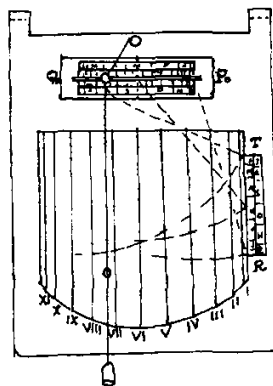
In pratica, si deve immaginare la Fig. 7 ruotata di 90° , come nel disegno a lato, perché si usa come *orizzonte di riferimento* un filo a piombo dotato di una perla scorrevole (nei testi antichi: almuri). PQ è un cursore che permette di disporre il punto di attacco del filo sulla posizione corrispondente alla data (sono stati disegnati i segni zodiacali, ma è possibile disegnare direttamente il calendario, con i nomi dei mesi, e una serie di suddivisioni, per esempio di 10 in 10 giorni, che permettano una qualche precisione: si veda il piccolo disegno a lato). Fissato il vertice, si porta il filo a sovrapporsi ad M, e la perla va portata su M.

Esistono due *pinnule*, dotate di fori, disposte su una linea perpendicolare alle linee degli Almicantharath: per mezzo di esse si individua l'altezza del Sole al momento, e la perla del filo a piombo indica l'Almicantharath, cioè l'ora, corrispondente. Il sistema è semplice, di immediata applicazione, preciso nei limiti dei materiali poveri con cui è costruito il tutto.

Una Variante

Riferiamoci sempre alla Fig. 7: nella illustrazione a sinistra sono stati evidenziati i triangoli PP_0O , QQ_0O , e MZO : i primi due sono uguali, ed entrambi sono simili al terzo. Ne deriva una proprietà degna di nota: se immaginiamo di cambiare latitudine, le distanze OP_0 ed OP (e le simmetriche OQ_0 ed OQ) variano in proporzione dei segmenti OZ ed

OM, mentre le distanze PP_0 e QQ_0 rimangono sempre costanti. Infatti, con il variare di ϕ , la quantità MO varia, e di conseguenza variano ZO e QP.



Supponiamo di azzerare la latitudine: in questo caso MO si sovrappone ad MZ, e PO si sovrappone a PP_0 . Se ne conclude che la somma $PP_0 + QQ_0$ è interpretabile come il *calendario* (la figura del Maeneus che si è riportata su PQ) *all'equatore*.

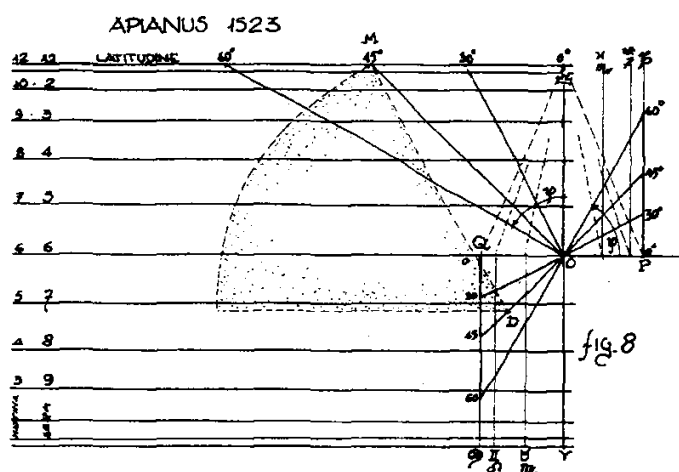
Una seconda osservazione (corollario

della prima): $PQ/MO = P_0Q_0/OZ$

La combinazione delle due osservazioni permette di costruire una cappuccina più *compatta*, che conserva però tutte le qualità della cappuccina originale: con riferimento alla figura 7, la sua parte destra questa volta, si è *slittato* il settore MAP della figura di sinistra in MAP_0 , e lo stesso lavoro si è fatto per il settore MCQ. L'operazione però comporta la costruzione di due *calendari*, uno su P_0Q_0 , ed un secondo su RT. Si noti che la distanza RT è uguale alla somma dei due segmenti PP_0 e QQ_0 ; quindi rimane costante, qualsiasi sia la latitudine per cui si disegna la Cappuccina.

Il meccanismo di lettura delle ore è lo stesso che per il modello precedente, solo che adesso, una volta regolato il fulcro del filo sulla data segnata su P_0Q_0 , occorrerà disporre la perla scorrevole sulla data uguale segnata su RT.

Una conseguenza: il quadrante di Apianus (1533)
Torniamo alla parte sinistra della figura 7.



Da questa figura si ricavano alcune osservazioni, che qui ripetiamo, per comodità. (Fig. 8)

MO giunge sempre all'Almicantarath centrale; inoltre essa forma con MZ e con P_0Q_0 (che nella cappuccina è l'orizzonte vero, perché lo strumento è ruotato di 90° rispetto alla figura) un angolo pari alla latitudine.

PQ è perpendicolare ad MO; inoltre al variare della latitudine la sua lunghezza varia proporzionalmente a MO

per quanto si è detto circa PP_0 e QQ_0 , gli estremi P e Q di tale segmento, al variare della latitudine, stanno su due rette parallele a P_0Q_0 .

Mantenendo fermo il punto O, e considerando la sovrapposizione di varie latitudini, si ottiene la FIG. 8, che è uno strumento universale, teoricamente valido dall'equatore al Polo. In essa si hanno due regolazioni relative alla latitudine, una su una figura di due serie di triangoli antimetrici imperniati sul punto O, ed una seconda sul fianco degli Almicantarath. Il calendario è dato dalle partizioni dei triangoli antimetrici, ottenute con un adeguato numero di parallele. Queste ultime sono generate dalla nota suddivisione di PQ.

A titolo di esempio si è indicato il settore valido per un giorno a metà di Toro (o di Leone), e per la latitudine di 45° . Occorre fissare il fulcro del filo a piombo nel punto D, e la perla scorrevole nel punto M.

D varia quindi con il calendario e con la latitudine; M con la sola latitudine.

Questo genere di orologio fu pubblicato nel 1523 da Apianus, e il suo testo merita una analisi approfondita, perché è una specie di "summa" della gnomonica. Egli ha reso più complesso lo strumento elementare qui illustrato, sovrapponendo ad esso una serie di linee: abachi per trasformare le ore eguali in ineguali, italiche e babilonesi, e un orologio notturno basato sulla posizione di alcune stelle vicine all'equatore celeste, e un quadrante delle umbrae; cosicché l'orologio è diventato talmente complicato da risultare praticamente inservibile per i più. Quindi non ha avuto fortuna. Ha poi fatto una variante più semplice, ma non tanto, e l'ha chiamata "la foglia di pioppo" per via della forma che ha voluto darle: variante rimasta pressoché sconosciuta, anche perché la

forma era un omaggio abbastanza servile ad un signorotto locale, che aveva queste foglie nello stemma.

Le cronache del 600 (Bernardino Baldi) affermano che in realtà l'orologio fu inventato da Giovanni Stabius, alla fine del '400. Ozanam invece lo attribuisce a St. Rigaud, posponendo di due secoli la sua ideazione.

Una seconda conseguenza: il quadrante di Regiomontanus (1465 circa)

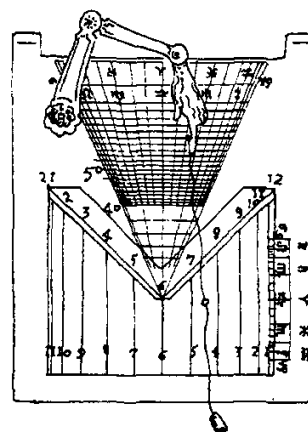
Questa volta il riferimento è alla parte destra della figura 7.

La distanza RT è sempre costante, ed è il calendario originato da PP_0 e QQ_0

Se si varia la latitudine mantenendo fisso M (il riferimento è ora la parte sinistra di Fig. 7), il punto O scorre lungo l'Almicantarath centrale, e la distanza MO si allunga. Di conseguenza si allungano in proporzione anche ZO e P_0Q_0 .

Ne viene fuori la FIG. 9.

L'uso è illustrato con il disegno dello stesso settore della figura precedente: il punto D, fulcro del filo a piombo, va disposto tenendo presente la latitudine ed il calendario, mentre il punto M, posizione della perla, va trovato sul calendario



sito sul fianco.

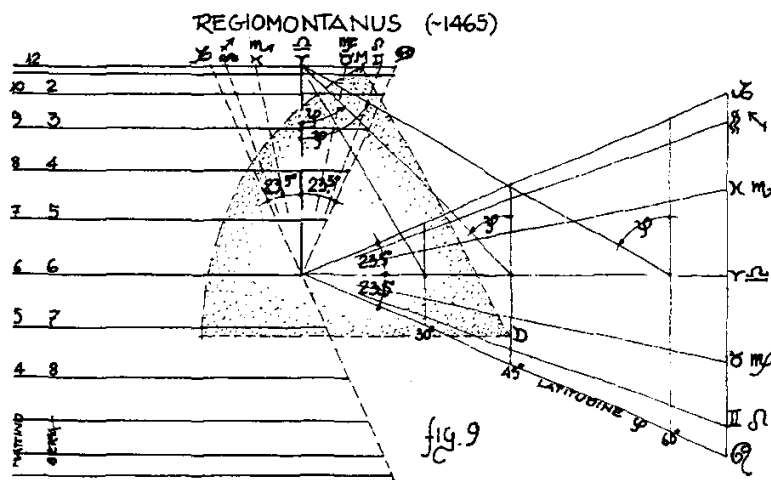
La figura è reciproca della precedente, ma è stata "inventata", questa volta sicuramente, da Regiomontanus, circa 70 anni prima. Lo strumento ha goduto di una certa fortuna, e viene ancora usato oggi nelle scuole di vela, per la semplicità d'uso, e per la (relativa) precisione,

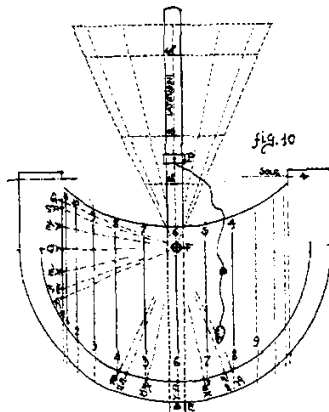
soprattutto nella indicazione delle ore del mattino e della sera, la cui altezza sia un poco lontana da quelle delle ore centrali del giorno.

Si potrebbe ricavarne la conclusione che non bisogna strafare. Apianus insegna.

Una variante piacevole, ma imprecisa

Intorno al 1530, Oronce Finé, professore alla Sorbona, costruì uno strumento derivato dal Regiomontanus; esso è noto come *Navicula de Venetiis* e, nelle poche versioni conosciute (4 esemplari in tutto, se non vado errato) è indubbiamente più piacevole a vedersi che non lo schizzo illustrativo che costituisce la Fig. 10. Il corpo dell'orologio è formato da due lastre parallele, a sandwich, fra le quali è inserita una bacchetta im-





perniata nel punto F. La bacchetta può così ruotare, ed essere inclinata secondo il calendario segnato in corrispondenza di E. Il funzionamento è ovvio, del tutto simile a quello del quadrante del Regiomontanus, sul cui schema ho inserito apposta il disegno della *navicula*.

La latitudine è segnata sulla bacchetta, su cui sta un cursore P, che porta il filo a piombo. Dal disegno risulta evidente che la posizione del cursore è corretta solo all'equinozio (Si veda il testo del Fantoni, a proposito). Ma l'errore non è molto grande, e lo strumento è certamente più bello, che non gli altri orologi.

Si può osservare che, probabilmente a causa del suo costo, non ha avuto una grande fortuna. Quattro esemplari non sono un best seller.

E ancora...

Esiste un altro orologio "universale", illustrato dal Finé nel suo trattato di Gnomonica (*Ricordiamo che è uno dei primi libri a stampa, se non il primo, che ha illustrato la gnomonica nella sua globalità e nei suoi principi*), basato questa volta sui veri Almicantarath, e sulla loro variazione in relazione alla latitudine ed alla declinazione: però ne ha trattato in modo esauriente, con dimostrazioni geometriche, il "Giovanni" (per antonomasia: Paltrinieri) sul N° 24 di *Analema*, per cui, *ubi maior...*; rimando il lettore a quella rivista.

Considerazioni finali

Tutto questo discorso è valido dal punto di vista espositivo e geometrico; se vogliamo è didatticamente valido. Tuttavia (ripeto) il lettore tenga presente che la Cappuccina, che per la sua semplicità si direbbe essere antenata del Regiomontanus, è invece successiva ad esso; diciamo meglio: non si sono ancora trovati esempi di Cappuccina costruiti o illustrati prima del Regiomontanus.

APPLICAZIONE DEL METODO DI MONTECARLO ALLA GNOMONICA PIER GIUSEPPE LOVOTTI

ESTRATTO

Per l'orologio solare orizzontale, sono ricavate con il metodo di Montecarlo, le sensibilità alle variazioni di alcuni dei più comuni fattori concernenti la fase costruttiva, e fornendo dei grafici riassuntivi che evidenziano i punti critici.

Generalità e scopo: Al 5° Seminario di Gnomonica, E. Marianeschi ha presentato una pregevole relazione sulla precisione degli orologi solari [1]; questo argomento pur essendo trattato poco diffusamente sulla letteratura gnomonica, è di grande importanza e la sua "vastità e complessità sono maggiori di quello che può sembrare a prima vista". Marianeschi suddivide gli errori cui possono andare soggetti gli orologi solari, in 4 categorie:

1. Errori del modello progettuale
2. Errori di imprecisione dei parametri d'entrata
3. Errori di costruzione
4. Errori di lettura

e indica il criterio analitico generale di valutazione della propagazione degli errori e della sensibilità alla variazione dei singoli parametri [ved. anche 2]. Alternativamente al metodo generale a volte può essere più agevole e, in termini di tempo, meno dispendioso, l'uso di un metodo statistico qual è il metodo di Montecarlo [3] [5] [6] che è quello usato in questa relazione. Esso viene applicato al caso più semplice di un orologio orizzontale limitatamente agli errori del tipo da imprecisione dei parametri di entrata e da costruzione. Si ricavano dei risultati che possono essere generalizzati e si mettono sotto forma di grafici, dai quali è possibile facilmente interpretarli e utilizzarli.

Il metodo di Montecarlo consiste, in generale, nella risoluzione di problemi statistici, o di problemi che possono essere interpretati come tali, sostituendo all'esperimento casuale reale uno più semplice nel quale le leggi probabilistiche volute sono ottenute attraverso l'uso di numeri casuali.

Nel nostro caso si tratta di disporre di un simulatore dell'orologio solare orizzontale con il quale, partendo dalla conoscenza della declinazione del Sole e dall'ora (vera solare) e sapendo la geometria costruttiva dell'orologio attraverso la latitudine del luogo e la lunghezza dello gnomone, ricavare le coordinate sul piano orizzontale dell'ombra di un punto dello gnomone; inversamente il simulatore, date le coordinate del punto d'ombra, a parità di geometria costruttiva e di declinazione solare, fa risalire all'ora (vera solare). Variando un parametro dell'orologio solare (ad es. l'altezza dell'ortostilo) in un intervallo definito (ad es. il 10%) attorno al suo valore nominale, con il simulatore si potranno trovare le coordinate di un punto d'ombra dell'orologio quando esso è in quel modo variato: da queste, con il simulatore, si risale all'ora, che sarà diversa da quella ottenuta in assenza della variazione. La differenza fra l'ora ottenuta con la variazione del parametro e quella senza la variazione costituisce l'errore.

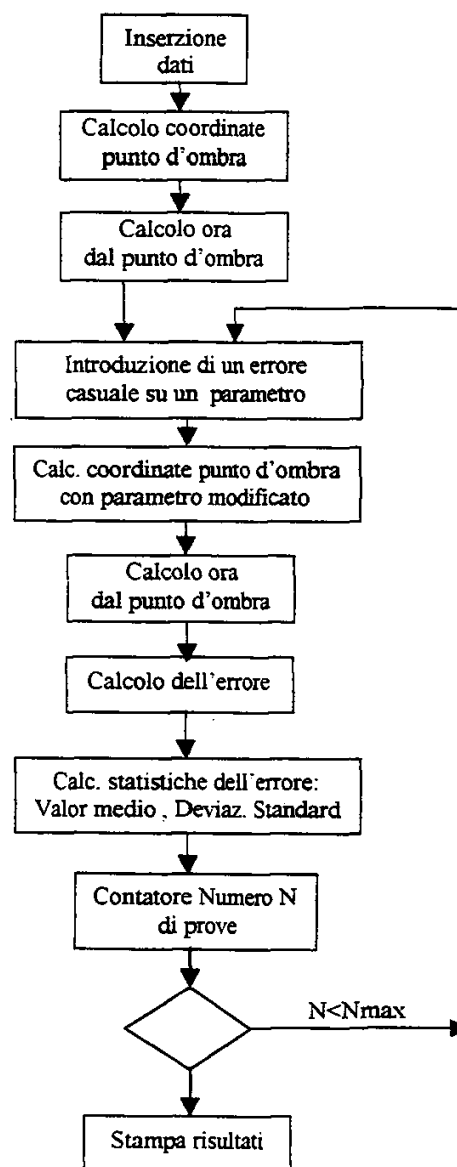


Fig. 1 Flow chart del metodo di Montecarlo

Ripetendo un numero notevole di volte questa procedura (nel nostro caso 25000), ogni volta introducendo una variazione del parametro che abbia una distribuzione

statistica definita nell'intervallo di variazione (ad es. probabilità costante in tutto l'intervallo), si potranno, analizzando statisticamente gli errori, trovare le grandezze statistiche di uscita rispetto a quelle di ingresso; in particolare la deviazione standard dell'errore sull'ora conseguente alla deviazione standard della variazione del parametro dell'orologio solare. In definitiva si ottengono le sensibilità alle variazioni di quel determinato parametro in termini di X minuti per Y% di variazione del parametro.

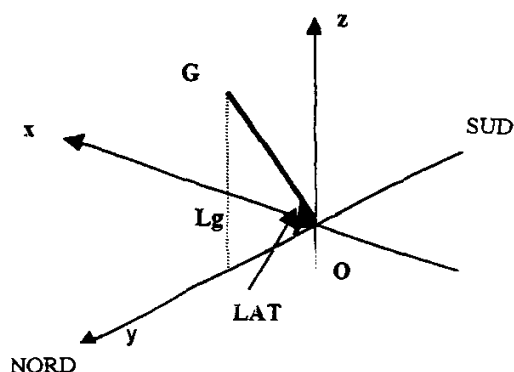


Fig. 2 Sistema di coordinate e gnomone

Il simulatore software: In un sistema di coordinate cartesiane ortogonali in cui il piano orizzontale è fatto coincidere con il piano degli assi x e y (Fig.2), i coseni direttori del raggio solare sono (ved. Appendice):

$$\begin{pmatrix} \cos \delta \cdot \sin H \\ \sin \delta \cdot \cos LAT - \cos \delta \cdot \cos H \cdot \sin LAT \\ \cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos LAT + \sin \delta \cdot \sin LAT \end{pmatrix}$$

L'equazione parametrica della retta con questa direzione e passante per:

$$G = (0, Lg \cdot \cot LAT, Lg)$$

si scrive:

$$\begin{cases} x = \lambda \cdot \sin H \cdot \cos \delta \\ y = Lg \cdot \cot LAT + \lambda \cdot \sin \delta \cdot \cos LAT - \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos H \cdot \sin LAT \\ z = Lg + \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos LAT + \lambda \cdot \sin \delta \cdot \sin LAT \end{cases}$$

Nel caso qui analizzato di orologio solare orizzontale, interessa il punto sul piano orizzontale dove va a battere il raggio solare che si ottiene, prima uguagliando a zero la coordinata z, ricavando il λ , e dopo averlo sostituito, risolvendo per le coordinate x e y sul piano orizzontale. Si ottiene:

$$x = -Lg \cdot \frac{\sin H \cdot \cos \delta}{\cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos LAT + \sin \delta \cdot \sin LAT}$$

$$y = Lg \cdot \left[\cot LAT + \frac{\cos \delta \cdot \cos H \cdot \sin LAT - \sin \delta \cdot \cos LAT}{\cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos LAT + \sin \delta \cdot \sin LAT} \right]$$

Viceversa, [Rif.4] date le coordinate di 2 punti dell'ombra, si risale all'ora attraverso l'equazione delle rette orarie:

$$x = y \cdot \sin LAT \cdot \tan H$$

$$H = \arctan \left[\frac{x}{y \cdot \sin LAT} \right]$$

Con queste formule è possibile ottenere un semplice simulatore dell'orologio solare con il quale passare dall'ora e dal giorno (in effetti dalla declinazione solare) alla posizione dell'ombra sul piano; oppure, viceversa, sapendo la posizione dell'ombra sul piano e la declinazione solare, ricavare l'ora.

L'applicazione: facilmente ci si rende conto del grande numero possibile di parametri da variare; qui ci si limita a considerare 4 casi, tutti relativi alla fase costruttiva.

Questi casi sono:

1. Angolo di elevazione dello gnomone polare non corretto, caso equivalente a lunghezza dello gnomone ortostilo non corretta
2. Posizionamento dello gnomone polare su un piano verticale non coincidente con il piano meridiano
3. Pendenza delle rette orarie non corretta
4. Le rette orarie non convergono al centro O dell'orologio, ma in un punto dell'asse x di ascissa diversa da zero

In ciascuno dei 4 casi, il parametro di uscita è l'errore (in minuti) sull'ora misurata e di esso viene calcolata la deviazione standard.

Il parametro di ingresso è diverso per ciascun caso come è qui sotto indicato; numericamente si è stabilita, o la stessa quantità percentuale massima di variazione (10%) con uniforme distribuzione nell'intervallo corrispondente, e pertanto la sua deviazione standard è sempre 5.77% del parametro che varia, oppure 10 unità del parametro che viene fatto variare, ed ancora la deviazione standard del parametro di ingresso, risulta 5.77 unità del parametro.

Nei 4 casi considerati i parametri di ingresso sono:

1. L'altezza dello gnomone ortostilo: i casi considerati hanno, con distribuzione uniforme, altezze comprese fra i valori limite di 0.9Lg e 1.1Lg
2. L'angolo fra il piano meridiano e quello verticale per lo gnomone varia, con distribuzione uniforme, fra 10° e -10°.
3. Il coefficiente angolare delle rette variare, che ha, con distribuzione uniforme, un valore compreso fra i limiti di 0.9 e 1.1 di quello relativo alle rette nominali.
4. La distanza dall'origine sull'asse x in percentuale della altezza dell'ortostilo: le rette orarie convergono sull'asse x in un punto compreso, con distribuzione uniforme, fra i limiti di +0.1Lg e -0.1Lg.

Risultati ottenuti e considerazioni: i risultati ottenuti, cioè le sensibilità ai vari parametri sopra indicati, espresse in termini di dati statistici (dev. Standard), sono tabulati e mostrati nei grafici delle figure successive: le curve ottenute, funzione dell'ora, sono

simmetriche rispetto al mezzogiorno e la parte speculare pomeridiana (spesso) non è stata riportata. Il parametro che contraddistingue le 5 curve di ogni grafico è la latitudine.

Si vede, ad es., che l'errore sull'angolo di elevazione dello stilo è massimo nell'ora intermedia del mattino e del pomeriggio, e alle basse latitudini; che il massimo errore, agli equinozi alla latitudine di 15°, corrisponde a poco più di 6 minuti per una variazione della lunghezza dell'ortostilo del 5.77%.

Viceversa, nel caso del piano dello stilo che non coincide con il piano meridiano, si vede che l'errore massimo si ha questa volta al mezzogiorno e ancora alle latitudini basse. Agli equinozi un errore di 5.77° nel posizionamento del piano dello stilo rispetto a quello meridiano, alla latitudine di 15°, dà luogo ad un errore sulla lettura dell'ora di oltre 78 minuti.

Nel caso di errore sulla pendenza delle rette orarie, l'errore risultante non dipende né dalla latitudine né dalla declinazione solare; è massimo alle 9 e alle 15 e per una variazione di pendenza del 5.77% vale al massimo 6.6 minuti.

Conclusioni: l'applicazione del metodo di Montecarlo è certamente interessante e in grado di dare risultati senza grandi sforzi. I possibili errori sono però così tanti e variegati che la casistica difficilmente potrebbe essere veramente completa.

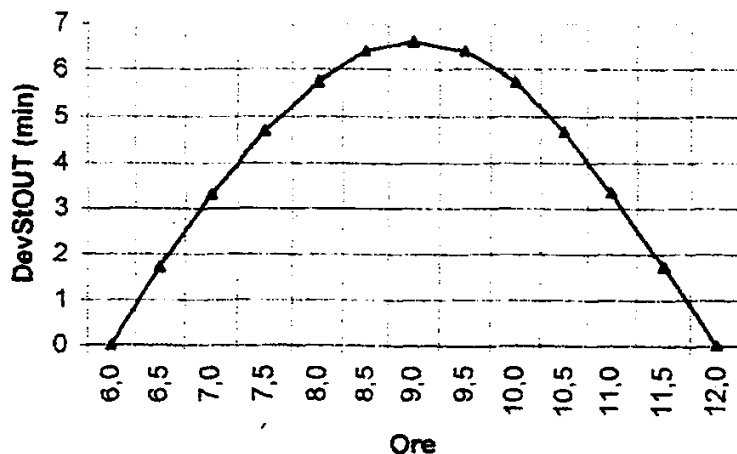
Bibliografia

- [1] E. Marianeschi "Sulla precisione degli orologi solari" Atti del 5° Seminario di Gnomonica 1993
- [2] N.Lanciano-L.Federici "Analisi dell'errore di misura e di arrotondamento nel rilievo degli orologi solari" Atti del 5° Seminario di Gnomonica 1993
- [3] ITT Inc. Reference data for radio engineers 1973
- [4] P.G. Lovotti "Gnomonica analitica in 3D: l'orologio solare orizzontale" su Gnomonica N°5 Gennaio 2000
- [5] E.D. Cashwell, C.J. Everett "A Practical Manual on the Monte Carlo Method" Pergamon Press, NY, 1959
- [6] Schreider, Yu "Method of Statistical Testing (Monte Carlo Method), translated from russian, Elsevier, Amsterdam, 1964

VARIAZIONE DELLA PENDENZA DELLE RETTE ORARIE

(DevSt IN = 5.77% di m)

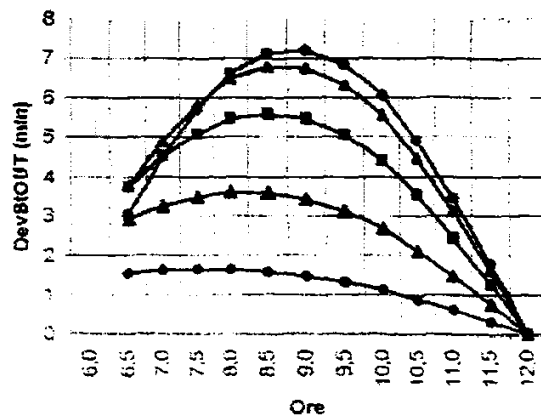
Tutte le LAT e tutte le DECL	
Ora	DevStOUT (min)
6,0	0,000
6,5	1,713
7,0	3,289
7,5	4,682
8,0	5,751
8,5	6,421
9,0	6,609
9,5	6,401
10,0	5,751
10,5	4,667
11,0	3,339
11,5	1,726
12,0	0,000



VARIAZIONE ELEVAZIONE STILO (DevSt IN = 5.77% Lg)

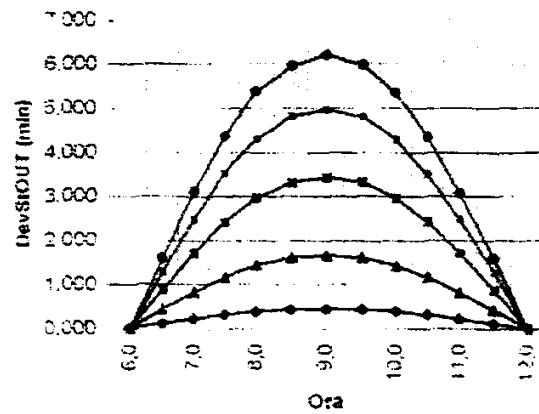
DECL SOLE = 23,45°

Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0					
6.5	1.538	2.924	3.747	3.768	3.049
7.0	1.619	3.232	4.522	4.906	4.487
7.5	1.657	3.488	5.075	5.811	5.723
8.0	1.633	3.606	5.469	6.482	6.610
8.5	1.583	3.596	5.593	6.790	7.123
9.0	1.465	3.420	5.476	6.737	7.201
9.5	1.309	3.120	5.054	6.313	6.851
10.0	1.106	2.697	4.398	5.580	6.054
10.5	0.867	2.119	3.553	4.467	4.918
11.0	0.595	1.471	2.439	3.109	3.454
11.5	0.304	0.752	1.262	1.609	1.786
12.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



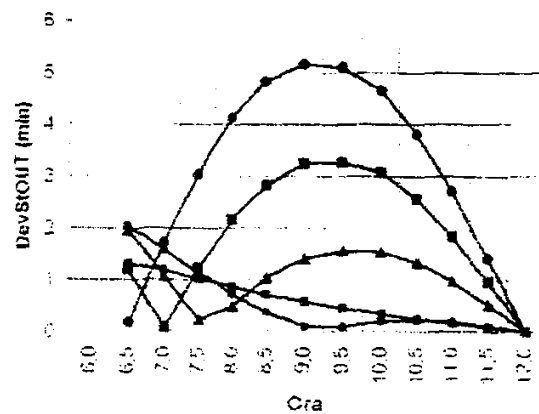
DECL SOLE = 0°

Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.5	0.115	0.430	0.889	1.291	1.602
7.0	0.223	0.832	1.727	2.487	3.112
7.5	0.316	1.177	2.425	3.543	4.362
8.0	0.385	1.445	2.981	4.305	5.376
8.5	0.432	1.608	3.312	4.820	5.961
9.0	0.447	1.662	3.439	4.975	6.200
9.5	0.430	1.604	3.320	4.786	5.976
10.0	0.388	1.436	2.969	4.299	5.350
10.5	0.315	1.177	2.434	3.505	4.363
11.0	0.223	0.825	1.711	2.484	3.071
11.5	0.115	0.432	0.885	1.282	1.599
12.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



DECL SOLE = -23,45°

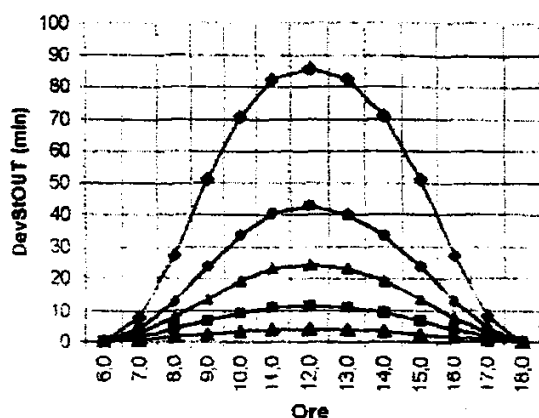
Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0					
6.5	1.316	2.052	1.968	1.191	0.177
7.0	1.176	1.576	1.070	0.081	1.721
7.5	1.016	1.138	0.231	1.227	3.046
8.0	0.867	0.727	0.485	2.161	4.126
8.5	0.717	0.378	1.036	2.821	4.828
9.0	0.576	0.104	1.402	3.240	5.162
9.5	0.450	0.085	1.566	3.266	5.108
10.0	0.336	0.191	1.535	3.071	4.840
10.5	0.239	0.220	1.331	2.557	3.818
11.0	0.150	0.185	0.976	1.841	2.719
11.5	0.074	0.104	0.514	0.962	1.408
12.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



PIANO DELLO STILO NON COINCIDENTE CON PIANO MERIDIANO
(DevSt IN = 5.77°)

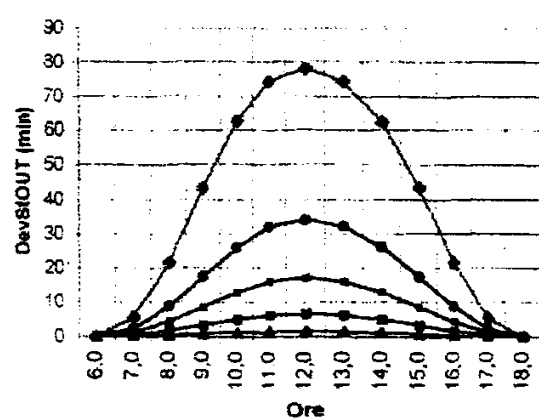
DECL SOLE = 23,45°

Ora	DevStOUT (minuti)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0	0,113	0,196	0,227	0,197	0,114
7.0	0,782	1,747	2,997	4,526	8,239
8.0	1,687	4,147	7,909	13,055	27,372
9.0	2,614	6,841	13,728	23,726	51,325
10.0	3,445	9,277	19,120	33,723	70,703
11.0	4,002	11,070	22,929	40,428	82,296
12.0	4,202	11,671	24,314	42,707	85,829
13.0	3,991	11,099	22,941	40,062	82,480
14.0	3,432	9,351	19,197	33,428	71,046
15.0	2,626	6,810	13,716	23,738	51,259
16.0	1,692	4,166	7,872	13,150	27,315
17.0	0,782	1,738	2,989	4,551	8,243
18.0	0,113	0,196	0,226	0,196	0,114



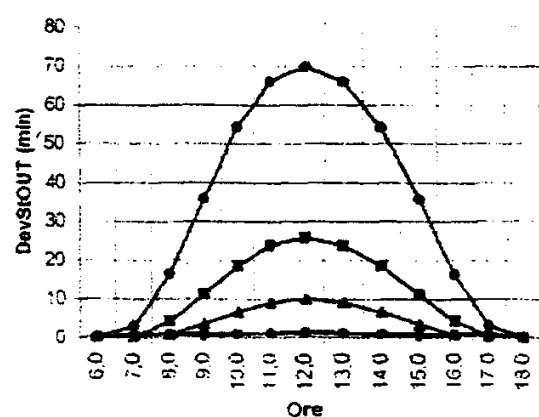
DECL SOLE = 0°

Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7.0	0,108	0,449	1,146	2,309	5,607
8.0	0,400	1,663	4,285	8,717	21,630
9.0	0,800	3,332	8,575	17,446	43,355
10.0	1,202	4,969	12,913	25,995	62,678
11.0	1,494	6,195	16,039	31,997	74,207
12.0	1,595	6,677	17,177	34,175	78,083
13.0	1,485	6,218	16,030	32,197	74,320
14.0	1,198	5,006	12,88	26,087	62,332
15.0	0,799	3,328	8,581	17,407	43,551
16.0	0,400	1,660	4,288	8,675	21,633
17.0	0,109	0,447	1,153	2,298	5,603
18.0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



DECL SOLE = -23,45°

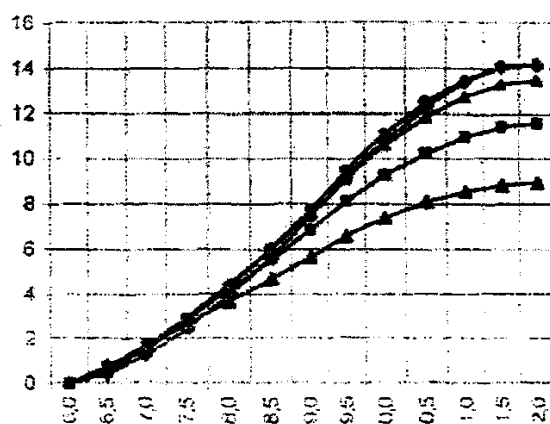
Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6.0	0,112	0,195	0,227	0,197	0,114
7.0	0,574	0,859	0,721	0,075	3,069
8.0	0,899	0,837	0,699	4,315	16,329
9.0	1,030	0,208	3,492	11,174	35,687
10.0	1,041	0,661	6,645	18,450	54,213
11.0	1,005	1,379	9,084	23,875	65,932
12.0	0,989	1,655	9,998	25,899	69,897
13.0	1,011	1,371	9,064	23,830	65,837
14.0	1,040	0,661	6,661	18,475	54,191
15.0	1,027	0,209	3,487	11,120	35,755
16.0	0,897	0,839	0,694	4,314	16,316
17.0	0,572	0,859	0,717	3,075	3,066
18.0	0,113	0,195	0,227	0,197	0,114



SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DELL'ORIGINE DELLE RETTE ORARIE
(DevSt IN = 5.77% di Lg)

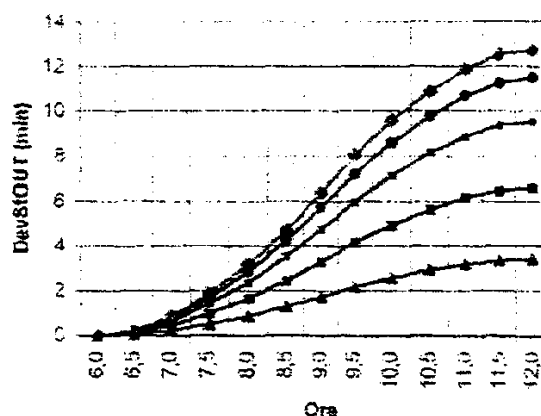
DECL SOLE = 23,45°

Ora	DevStOUT (minuti)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,5	0,784	0,763	0,683	0,571	0,411
7,0	1,665	1,730	1,672	1,516	1,248
7,5	2,628	2,879	2,921	2,781	2,441
8,0	3,628	4,151	4,402	4,306	3,965
8,5	4,651	5,503	6,004	6,014	5,637
9,0	5,825	6,834	7,569	7,734	7,455
9,5	6,560	8,108	9,120	9,493	9,241
10,0	7,354	9,270	10,594	11,102	10,792
10,5	8,078	10,210	11,844	12,515	12,300
11,0	8,545	10,961	12,725	13,430	13,383
11,5	8,844	11,408	13,274	14,119	14,078
12,0	8,944	11,596	13,467	14,190	14,173



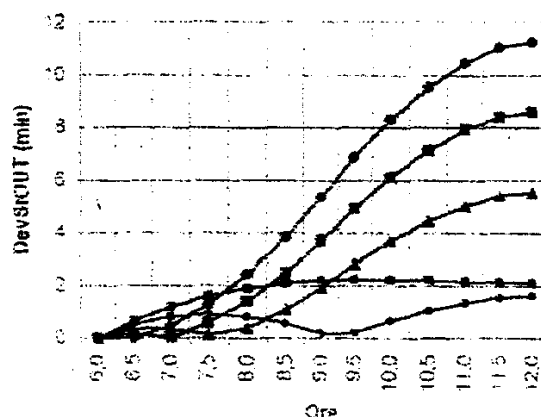
DECL SOLE = 0°

Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,5	0,059	0,113	0,161	0,195	0,218
7,0	0,229	0,444	0,637	0,767	0,856
7,5	0,501	0,970	1,396	1,677	1,876
8,0	0,857	1,657	2,379	2,869	3,204
8,5	1,265	2,453	3,532	4,248	4,742
9,0	1,710	3,301	4,765	5,743	6,398
9,5	2,154	4,174	5,998	7,186	8,032
10,0	2,571	4,947	7,131	8,600	9,508
10,5	2,928	5,650	8,140	9,767	10,900
11,0	3,203	6,189	8,872	10,690	11,895
11,5	3,359	6,490	9,372	11,247	12,531
12,0	3,433	6,620	9,515	11,500	12,737



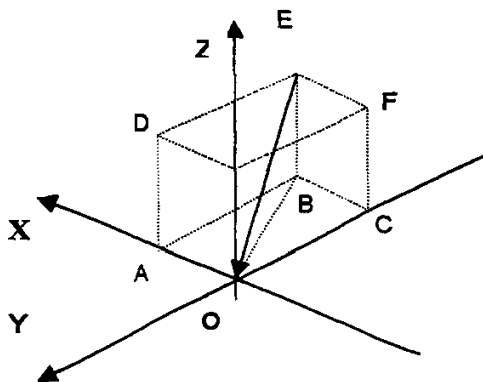
DECL SOLE = -23,45°

Ora	DevStOUT (min)				
	LAT 75	LAT 60	LAT 44	LAT 30	LAT 15
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,5	0,565	0,537	0,358	0,180	0,024
7,0	1,204	0,943	0,394	0,025	0,471
7,5	1,626	0,927	0,132	0,581	1,300
8,0	1,916	0,832	0,387	1,435	2,449
8,5	2,110	0,676	1,100	2,496	3,829
9,0	2,201	0,207	1,939	3,708	5,360
9,5	2,243	0,220	2,828	4,916	6,870
10,0	2,234	0,657	3,673	6,120	8,313
10,5	2,195	1,054	4,444	7,131	9,532
11,0	2,170	1,370	5,013	7,933	10,470
11,5	2,126	1,570	5,410	8,404	11,042
12,0	2,125	1,646	5,528	8,596	11,274



APPENDICE

Si giustifica la formula che dà, sul piano orizzontale, la direzione di un raggio solare caratterizzato da Declinazione solare δ e da Angolo orario (dal Sud) H :



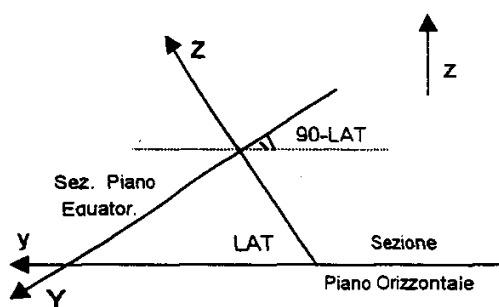
Nella Figura, il piano degli assi X e Y, è il piano equatoriale; il piano degli assi Y e Z coincide con il piano meridiano; inoltre:

l'angolo $EOB = \delta$ declinazione del Sole
l'angolo $COB = H$ angolo orario (dal Sud)

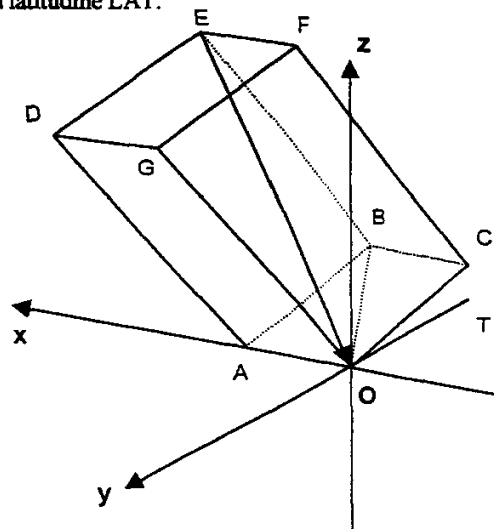
Si vede per ispezione diretta dalla figura che, con riferimento al piano equatoriale, il raggio solare EO è individuato dalla direzione:

$$\begin{pmatrix} \sin H \cdot \cos \delta \\ -\cos H \cdot \cos \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

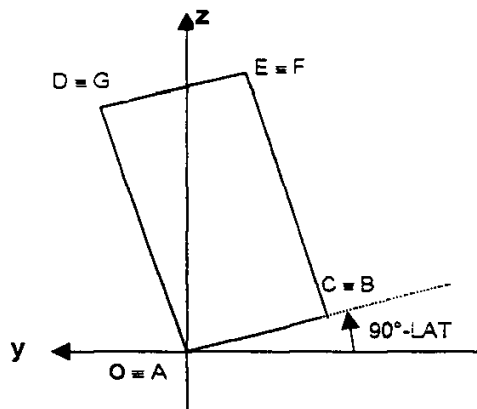
Nella successiva figura, in sezione sul piano meridiano, si vede la posizione relativa del piano equatoriale rispetto al piano orizzontale:



Nelle figure successive, in assonometria e in sezione verticale, è rappresentata la situazione, dal cui esame diretto si ottiene direttamente la formula che dà la direzione del raggio solare con declinazione solare δ e Angolo orario (dal Sud) H , riferita al piano orizzontale alla latitudine LAT.



Qui ora il piano degli assi x e y è il piano orizzontale. ancora $EOB = \delta$ declinazione del Sole e $COB = H$ angolo orario (dal Sud); l'angolo $COT = 90^\circ - LAT$.



Proiettando EO sugli assi, i coseni direttori del vettore raggio solare risultano:

$$\begin{pmatrix} \cos \delta \cdot \sin H \\ \sin \delta \cdot \cos LAT - \cos \delta \cdot \cos H \cdot \sin LAT \\ \cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos LAT + \sin \delta \cdot \sin LAT \end{pmatrix}$$

VERSIONI TECNOLOGICHE DELL'OROLOGIO DELLE GIOVANI MARMOTTE PIER GIUSEPPE LOVOTTI

ESTRATTO

Sono brevemente indicate alcune possibili realizzazioni tecnologiche dell'orologio solare detto delle Giovani Marmotte, presentato all'8° Seminario di Gnomonica.

All'8° Seminario di Gnomonica, a Porto S. Giorgio, è stato presentato l'orologio solare delle Giovani Marmotte: esso è sostanzialmente "un orologio solare catottrico di derivazione equatoriale, concepito in modo tale che rappresenti l'ora su di un quadrante che, per quanto riguarda le ore e la loro posizione, risulta del tutto simile a quello dei comuni orologi analogici, e che utilizza, come unica "lancetta", un raggio solare luminoso che arriva sul quadrante dopo aver subito due riflessioni su specchi piani adeguatamente predisposti". [1]

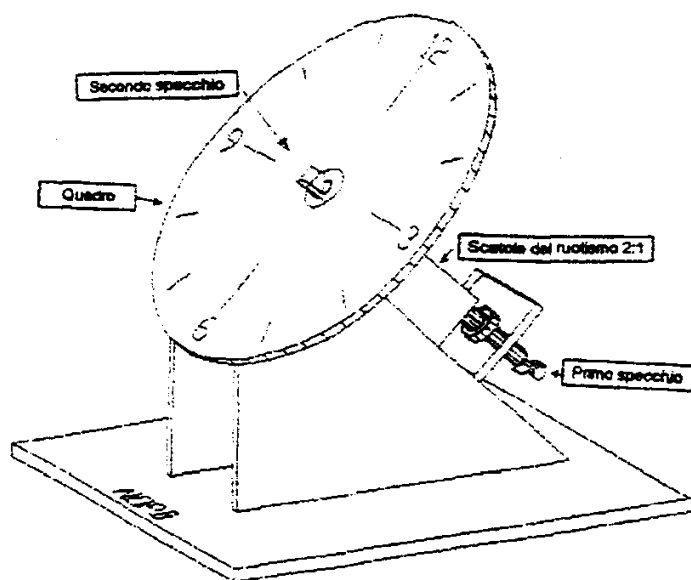


Fig. 1 L'orologio solare delle Giovani Marmotte

Nella figura si vede la versione originaria dell'orologio: sostanzialmente si tratta, attraverso l'uso di un primo specchio (di declinazione) di angolazione regolabile a seconda della stagione e della conseguente declinazione del Sole, di indirizzare il raggio solare secondo una direzione parallela all'asse di rotazione terrestre attraverso un condotto tubolare. All'altro estremo del tubo parallelo all'asse di rotazione terrestre, un secondo specchio, che, attraverso un adeguato ruotismo, gira di un angolo doppio rispetto a quello compiuto dal primo specchio sul piano equatoriale, riflette in modo radente sul quadrante il raggio solare che viene così a funzionare da lancetta indicatrice dell'ora. Per particolari più dettagliati sulla versione originaria, per la valutazione dei pregi e dei punti deboli, di una siffatta realizzazione, si rimanda a [1]; qui

invece si vuol mettere in evidenza alcune delle svariate possibili versioni sia relativamente alle modalità di indicazione dell'ora che al sistema di inseguimento del Sole.

Il secondo specchio, quello al centro del quadrante circolare, ha quale unica funzione quella di cambiare di 90° la direzione del raggio solare facendolo passare da quella dell'asse polare a una sul piano equatoriale; rinunciando a creare la "lancetta" luminosa con lo stesso raggio solare entrante sul primo specchio, si vede che il

raggio luminoso può essere sostituito da un sottile raggio laser nel visibile (di quelli ad es. usati durante conferenze per indicare punti specifici di disegni o immagini) sistemato al posto del secondo specchio, e che pertanto come quello ruota di un angolo doppio dell'angolo orario. Analoga a questa versione optoelettronica, si può pensare quella che fa apparire l'orologio delle Giovani Marmotte ancor di più simile all'orologio analogico tradizionale: al posto del secondo specchio si sostituisce una vera e propria lancetta meccanica solidamente collegata all'asse che gira a velocità doppia.

Nella versione originaria dell'orologio delle Giovani Marmotte, l'inseguimento del Sole è fatto manualmente dall'operatore, cioè il primo specchio, che sul piano perpendicolare a quello equatoriale è disposto con un angolo pari alla declinazione solare, viene, sul piano equatoriale, posto nella direzione del Sole dall'operatore che lo gira dell'angolo orario, cioè, sostanzialmente, finché non vede sul quadrante, netto ed evidente il raggio

riflesso dal primo e dal secondo specchio.

Un primo modo di updating del sistema di inseguimento solare, è quello di introdurre un piccolo motorino elettrico che determina la rotazione del primo specchio: l'operatore lo comanda attraverso due comandi di "Avanti" e "Indietro", e tutte le rimanenti operazioni proseguono come nel sistema manuale.

Fin qui le protesi tecnologiche, sia per il sistema di indicazione dell'ora che per quello dell'inseguimento solare, non sono tali da far inorridire del tutto il purista della gnomonica, ma si può proseguire inserendo l'elettronica anche se non il computer...

Il sistema di inseguimento prima descritto può essere facilmente automatizzato togliendo l'operatore nel sistema di feedback e sostituendolo con uno sensore della

direzione di ricezione del raggio solare; un sensore del genere può essere ad es. del tipo analogo al sistema di antenne "monopulse" nella ricezione dei segnali dai satelliti o dalle sonde spaziali; un sistema del genere è qui realizzabile semplicemente con 2 o 4 fotoresistori assieme a pochi altri componenti elettronici, che

automatizzano il comando Avanti - Indietro del motorino elettrico.

Lo stesso sistema meccanico a ruotismi che raddoppia l'angolo orario per ottenere la presentazione dell'orologio analogico tradizionale, può essere realizzato abbastanza semplicemente con componentistica elettronica.

[1] Pier Giuseppe Lovotti

"L'orologio solare delle Giovani Marmotte"

Atti 8° Seminario Gnomonica 1997

Alcune possibili versioni dell' Orologio delle Giovani Marmotte	
INDICAZIONE DELL'ORA	Raggio solare riflesso 2 volte
	Raggio laser allo stato solido
	Lancetta meccanica
SISTEMA DI INSEGUIMENTO SOLARE	Manuale
	Semiautomatico (con motore Avanti - Indietro)
	Con loop di controllo automatico
SISTEMA DI RADDOPPIO DELL'ANGOLO ORARIO	Meccanico
	Elettronico

MERIDIANA PER TRASPARENZA CON GNOMONE A LENTE TRIFOCALE

CESARE LUCARINI – MARIO CATAMO

ESTRATTO

Su una vetrata dell'Università di Roma "La Sapienza" gli Autori hanno costruito una Meridiana per trasparenza con gnomone a lente trifocale. Viene illustrato il procedimento di costruzione, dal calcolo al disegno, all'incisione su vetro, alla decorazione, al montaggio. Particolare attenzione è dedicata alla descrizione dello gnomone, costituito da una lente trifocale che concentra la luce indicante l'ora, migliorandone notevolmente la visione per trasparenza, insufficiente con i metodi tradizionali per le notevoli dimensioni della Meridiana. L'ora indicata è il Mezzogiorno TMEC.

UNA MERIDIANA PER TRASPARENZA NELL'UNIVERSITA' "LA SAPIENZA" A ROMA

L'edificio della Facoltà di Farmacia dell'Università "La Sapienza", a Roma, presenta un esteso fronte esposto a Sud-Ovest, attraverso il quale vetrare rettangolari danno luce all'ampia scalinata interna. Le superfici in vetro si alternano a quelle in cemento, con una scansione di rettangoli molto più pronunciati in altezza che in larghezza. Chi cerchi un elemento decorativo che rompa "dall'interno" la monotonia delle superfici trasparenti, è indotto a pensare al colore e immaginare istoriato uno dei tanti rettangoli da cui traspare la luce, in corrispondenza di uno, almeno, dei vasti ballatoi che interrompono lo svolgersi delle scale e che si schiudono come balconate verso il sole.

Se poi la tentazione ornamentale nasce in animi che hanno familiare il ruolo della luce solare nella scansione del tempo, l'idea di una Meridiana per trasparenza si impone con una potente forza suggestiva.

E' così che è nata l'idea della costruzione della Meridiana per trasparenza nella Facoltà. Autorità Accademiche sensibili ne hanno appoggiato incondizionatamente la costruzione e il 1° settembre 1999 è avvenuta l'installazione, seguita, il 20 dicembre 1999 dall'inaugurazione alla presenza del Magnifico Rettore, del Preside della Facoltà, di una nutrita rappresentanza di docenti e studenti. Erano presenti quello che consideriamo tutti il nostro illustre decano, l'Ammiraglio Fantoni e il Presidente della Sezione Quadranti solari dell'UAI, Francesco Azzarita.

Le Meridiane per trasparenza sono molto scarsamente rappresentate nel nostro Paese. Riteniamo utile esporre la problematica affrontata e risolta nella costruzione, anche per la presenza di un elemento tecnicamente innovativo, al quale dedicheremo una specifica descrizione dopo l'illustrazione generale.

La superficie rettangolare alta e stretta delle vetrare ha imposto, senza alternative, una scelta: quella del tracciamento di una sola linea oraria: la linea

Meridiana. Roma ha un cospicuo corredo di meridiane di questa tipologia: sono esemplari antichi, orizzontali, a camera oscura, a tempo vero locale e sono noti a tutti. La nostra è verticale, declinante, a ora media. L'accostamento alle Meridiane classiche può apparire irraguardoso, ma lo facciamo ugualmente perché ci piace tentare di collocare il nostro lavoro in una compagnia illustre, ben sapendo che nulla potrà mai rendere possibile il confronto tra la nostra Meridiana e la superba Meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli.

Non ci soffermiamo a descrivere le operazioni consuete in ogni tipo di costruzione di Meridiane: la misura della declinazione della vetrata, i calcoli, il disegno. Un racconto particolareggiato, in proposito, è contenuto nell'opuscolo edito dalla Facoltà ad uso degli studenti, e quindi a carattere essenzialmente divulgativo. Preferiamo piuttosto attardarci nella descrizione degli elementi specifici che più significativamente caratterizzano il nostro esemplare.

LA DECORAZIONE

La forma a "lemniscata" della linea Meridiana ha, quasi inevitabilmente evocato, in un Istituto Chimico, la rappresentazione usata didatticamente per rappresentare l'orbitale atomico "p" e da qui è nata l'idea di inserire nella curva, con discrezione, un piccolo connotato grafico tipico dell'orbitale, cioè la casella con la doppia freccia al centro, indicante lo spin opposto degli elettroni nell'orbitale, che non ha ovviamente alcun significato gnomonico. Il richiamo all'atomo ha offerto anche lo spunto per la decorazione periferica, interamente costituita da simboli che partono dagli elementi base della materia (acqua, aria, terra e fuoco) degli antichi filosofi greci e arrivano alla complessa iconografia alchemica usata dagli alchimisti del '600 per indicare le sostanze chimiche e le loro manipolazioni. I simboli alchemici sono disposti come quelli che appaiono sugli stipiti della "Porta Magica", situata in Piazza Vittorio Emanuele II a Roma; l'epigrafe incisa sulla soglia, che forma il palindromo

"SI SEDES NON IS" è ripresa sulla Meridiana come motto inteso a stimolare, nei docenti e negli studenti, una ricerca scientifica "senza soste".

LA COSTRUZIONE

Abbiamo rilevato con un GPS le coordinate geografiche del luogo ($41^{\circ} 54' 3''$ N ; $12^{\circ} 30' 52''$ E) ed abbiamo misurato la declinazione della vetrata utilizzando il metodo del confronto con l'azimut del Sole. Sette rilevazioni con due attrezzature diverse, ci hanno dato il valore di $25^{\circ} 3'$ W, con uno scarto quadratico medio dello 0.5%. Abbiamo infine calcolato le coordinate di 75 punti, più addensati in corrispondenza delle zone di maggior curvatura della linea ed abbiamo eseguito il disegno con Autocad, su scala 1:20, stampandolo mediante plotter su pellicola trasparente con un ingrandimento di 20 volte.

Abbiamo riportato il disegno, con la tecnica dello "stencil" su una lastra di vetro di dimensioni e spessore idonei a consentirne la collocazione nel telaio preesistente. Lo spessore, di sei millimetri, è ottenuto incollando due lastre di tre millimetri, tra le quali è interposta una sottilissima pellicola di materiale lievemente opaco. E' su questa pellicola che si forma l'immagine proveniente dal Sole.¹ Queste lastre si trovano in commercio senza difficoltà. Con il getto di abrasivo eseguito mediante una sabbiatrice alla pressione di circa 10 atmosfere abbiamo realizzato l'incisione e poi siamo passati alla colorazione. L'incisione non ha arrecato alcun danno alla pellicola utilizzata per lo stencil, ma ha solo agito sul vetro scoperto dagli intagli eseguiti per l'incisione.

Via via che procedeva il lavoro ora descritto, abbiamo affrontato il problema del modo migliore per leggere in maniera soddisfacente, dall'interno, il segno che indica l'ora.

I metodi adottati nella tradizione, come ben sappiamo tutti, sono due. Il primo consiste nell'utilizzare semplicemente l'ombra dell'estremità di un'asta o, meglio, l'ombra di una sferetta metallica di diametro conveniente, saldata all'estremità dello gnomone, con il suo centro spazialmente collocato nell'esatta posizione che sarebbe stata raggiunta dall'estremità dello gnomone stesso: nel nostro caso a 60 cm. dal punto predeterminato nel disegno.

La sperimentazione eseguita ha dato risultati insoddisfacenti. L'ombra della sferetta, utilizzabile per piccole Meridiane, si affievolisce notevolmente alle grandi distanze richieste dalla nostra: nel giorno del solstizio d'estate il centro dell'ombra della sferetta si proietta a 224.8 cm di distanza e l'immagine deve

essere vista per trasparenza! E' inutile a questo punto aggiungere, tra gli inconvenienti di simili distanze, la accentuata trasformazione in ellisse dell'ombra di una sferetta circolare e la formazione di una grande alone di penombra attorno all'ellisse.

L'altro metodo usato nella tradizione consiste nel sostituire all'ombra della sferetta la luce che attraversa un foro circolare, praticato in una piastra metallica di piccolo spessore e collocato esattamente, con il suo centro, nella posizione spaziale che avrebbe dovuto essere occupata dalla punta dell'asta o dal centro della sferetta. Abbiamo sperimentato anche questo metodo, riscontrando per le grandi distanze inconvenienti solo un poco meno gravi di quelli verificatisi con la sferetta.

LO GNOMONE OTTICO TRIFOCALE

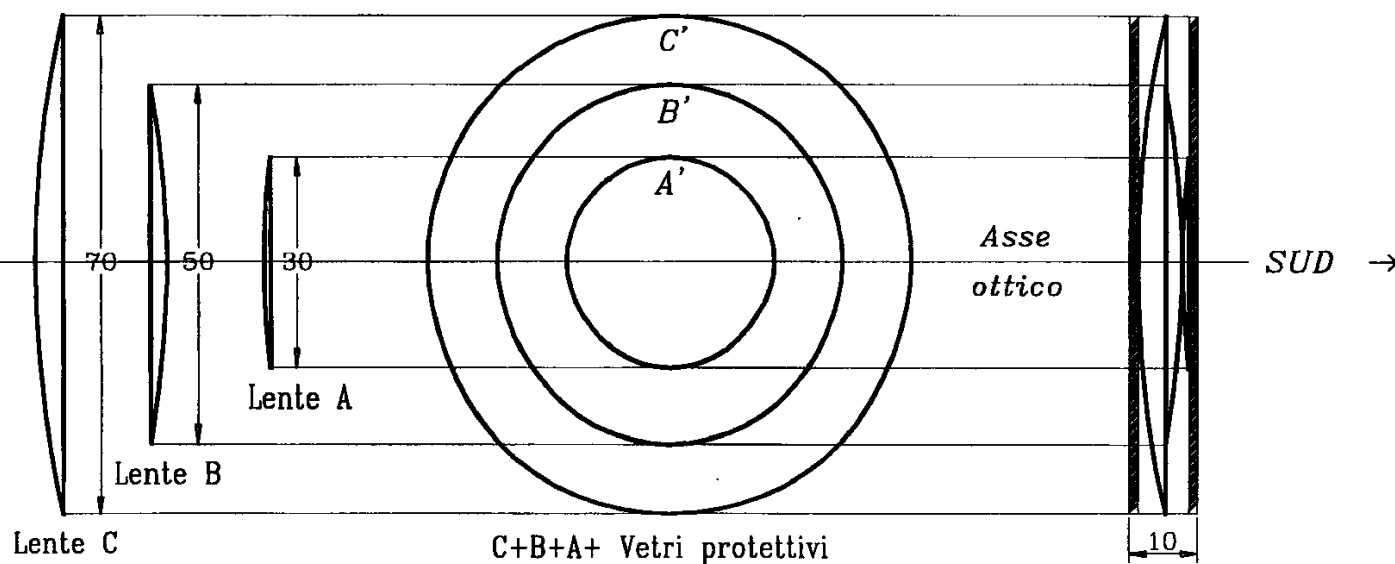
A questo punto è stato giocoforza infrangere la tradizione e tentare un metodo totalmente nuovo di proiettare il segnale dello gnomone sulla linea oraria. Si tratta dell'uso di lenti, per quanto ci risulta mai avvenuto prima, in modo da concentrare la luce sul punto in cui cade, accentuando fortemente la luminosità dell'immagine che deve essere vista dall'interno.

Abbiamo creato un sistema di lenti convergenti concentriche in cui la prima (partendo dal lato rivolto alla Meridiana), ha un diametro di 70 mm, la seconda di 50 e la terza di 30. La prima e l'ultima sono lenti di 0.5 diottrie ciascuna, mentre la lente intermedia è di 0.25 diottrie. Questo sistema ha la proprietà di dare immagini focalizzate a 200, a 133 e a 80 cm. di distanza. Le lenti sono quelle standard del commercio, con diottrie che mutano di 0.25 in 0.25. Le tre distanze focali sono relativamente vicine alle tre distanze tra l'estremità dello gnomone e i due solstizi e tra l'estremità dello gnomone ed un punto intermedio della linea oraria prossimo agli equinozi.

Gli elementi componenti del sistema e i loro parametri più rilevanti sono descritti nella figura 1. Nei punti significativi ora ricordati il sistema non dà un'immagine perfettamente a fuoco, ma non è necessaria. Quello che è richiesto è un ben visibile cerchio di luce che attraversi la linea oraria nel momento in cui cade l'ora per la quale la Meridiana è stata costruita. In effetti in questi tre punti il sistema produce un cerchio centrale molto luminoso e cerchi concentrici affievoliti, che accentuano in qualche modo l'effetto di indicazione dell'ora. Nelle posizioni intermedie si verificano modifiche nei rapporti di luminosità tra le diverse zone e nelle loro grandezze, ma resta efficiente l'illuminazione della linea oraria da parte del sistema ottico.

¹ La distanza di tre mm. tra la pellicola su cui si forma l'immagine del Sole e il piano su cui è inciso il disegno della Meridiana induce un ineliminabile ma modestissimo effetto di parallasse, dipendente dalla posizione dell'osservatore.

COMPOSIZIONE E PARAMETRI DI UN SISTEMA DI LENTI USATO COME GNOMONE OTTICO



LENTI SINGOLE

C: $d = 0.50$; $\phi = \text{mm. } 70$; $f = \text{cm. } 200$
 B: $d = 0.25$; $\phi = \text{mm. } 50$; $f = \text{cm. } 400$
 A: $d = 0.50$; $\phi = \text{mm. } 30$; $f = \text{cm. } 200$

SISTEMI DI LENTI

A' = $1.25 d$; $f = \text{cm. } 80$
 B' = $0.75 d$; $f = \text{cm. } 133$
 C' = $0.50 d$; $f = \text{cm. } 200$

d = diottrie; f = distanza focale in cm.; ϕ = diametro in mm.

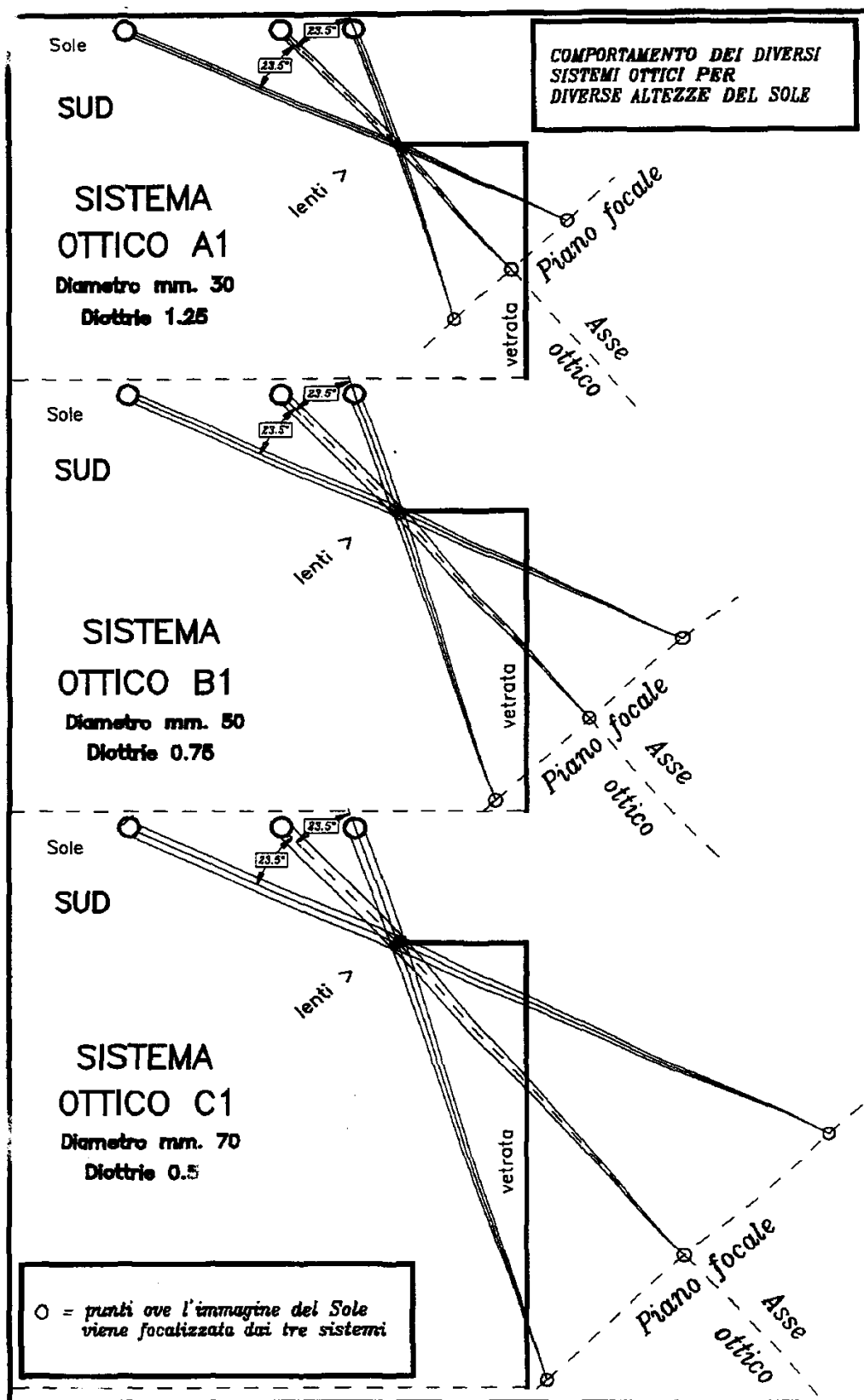


Fig. 2

La figura 2 mostra il comportamento del sistema per diverse altezze del Sole in uno schema necessariamente semplificato, in cui cioè il quadro della Meridiana è esposto esattamente a Sud e la linea oraria è ridotta ad una retta. Ne derivano approssimazioni che però danno risultati idonei a prevedere il comportamento tendenziale del sistema.

I cerchietti indicano il punto dove l'immagine del Sole viene focalizzata dalle tre diverse lenti composte. Il sistema ottico A1, con un potere diottrico di 1.25, ottenuto dalla somma delle diottrie dell'intero sistema, ed una distanza focale di 80 cm., proietta sulla vetrata un'immagine del Sole che, nel periodo compreso tra gli Equinozi e il Solstizio invernale, è formata da un bel cerchietto, molto luminoso. Il sistema B1, con un potere diottrico di 0.75, somma delle diottrie delle lenti C e B, e quindi con una distanza focale di 133 cm., subentra via via che va fuori fuoco il sistema A1; infine il sistema C1, costituito dalla sola corona circolare della lente C, con 0.5 diottrie ed una distanza focale di 200 cm. subentra quando va fuori fuoco il sistema B1 e quindi proietta l'immagine del Sole nella parte inferiore del quadro, cioè nella stagione estiva.

Con il trascorrere dei giorni la macchia luminosa formata da ciascuna lente cambia lentamente di dimensioni e luminosità, ma l'immagine centrale taglia ogni giorno alle 12 la curva oraria, seguendo durante l'intero anno tutto il percorso ad otto della "lemniscata".

Il sistema, per quanto ci risulta, non è stato mai usato prima di oggi e questo non ci ha consentito di avvalerci di precedenti esperienze per prevedere gli effetti di possibili aberrazioni del sistema di lenti al variare dell'angolo di incidenza dei raggi solari durante l'anno. Non abbiamo rilevato nessuno di tali effetti nell'osservazione iniziata il 1° ottobre e proseguita sino al momento della stesura di questa relazione: agosto inoltrato. Nel volumetto stampato al momento dell'inaugurazione (fine 1999) ci dichiaravamo in prudente attesa dei risultati, senza nascondere le nostre apprensioni per il comportamento che il sistema avrebbe manifestato nel periodo critico del solstizio estivo. I risultati, oggi possiamo dirlo con sollievo, sono stati superiori alle più ottimistiche aspettative: si è solo verificata una precalcolata ovalizzazione del segnale luminoso, accompagnata ad un altrettanto precalcolato affievolimento dell'immagine, non tale tuttavia da rendere difficoltosa la lettura.

Il sistema è assemblato in un involucro cilindrico di acciaio inossidabile del diametro interno di 70 mm. ed esterno di 75 mm., alto 15 mm. E' delimitato sulle sue due facce da due lastre di vetro protettivo. Lo abbiamo collocato, superando intuibili difficoltà pratiche, con il suo centro nella posizione spaziale che doveva essere raggiunta dall'estremità di uno gnomone normale. Il posizionamento è facilitato da quattro snodi che conducono ad una staffa fissata in un punto idoneo della parete in muratura. Per individuare esattamente la posizione nello spazio del centro del sistema ottico abbiamo segnato sulla vetrata il punto, le cui coordinate sono state precedentemente calcolate, su cui

deve cadere la perpendicolare proveniente da tale centro. Se si guarda con attenzione la vetrata si scorge tale punto, contrassegnato da una stellina, in alto a sinistra di chi guarda dall'interno. Un'asta appositamente tornita e di idonea lunghezza², tenuta con opportuni accorgimenti perpendicolare alla vetrata nel punto calcolato, ha indicato la posizione che abbiamo dato al sistema per assicurare la correttezza del suo funzionamento. Mentre le operazioni di disegno, incisione e colorazione sono state eseguite sulla vetrata smontata ed adagiata su cavalletti, il posizionamento dello gnomone ottico (è giunto il momento di chiamarlo così), lo abbiamo realizzato issandoci su un'impalcatura esterna, all'altezza di circa dieci metri dal suolo.

Il sistema ottico è orientato in modo da avere i piani principali delle lenti perpendicolari ai raggi del Sole a mezzogiorno vero di un giorno equinoziale; il suo asse ottico è diretto perciò verso il Sud ed è inclinato di 48° sull'orizzonte. Questi orientamenti hanno richiesto una particolare accuratezza e un'adeguata strumentazione, dovendosi svolgere in concomitanza con la delicata operazione della collocazione spaziale.

Nel corso del lavoro di progettazione ed esecuzione ci siamo posti i problemi connessi alla rifrazione. Considerato che la nostra Meridiana è operante a Mezzogiorno, cioè nel momento della giornata in cui il Sole è più alto abbiamo considerato trascurabile l'effetto della rifrazione atmosferica, confortati dall'orientamento in proposito degli altri costruttori di Meridiane.

Abbiamo anche affrontato il problema della particolare rifrazione dovuta al passaggio della luce dall'aria al vetro. Abbiamo calcolato anche in questo caso un effetto di traslazione dell'immagine talmente esiguo da non rendere necessari interventi correttivi.

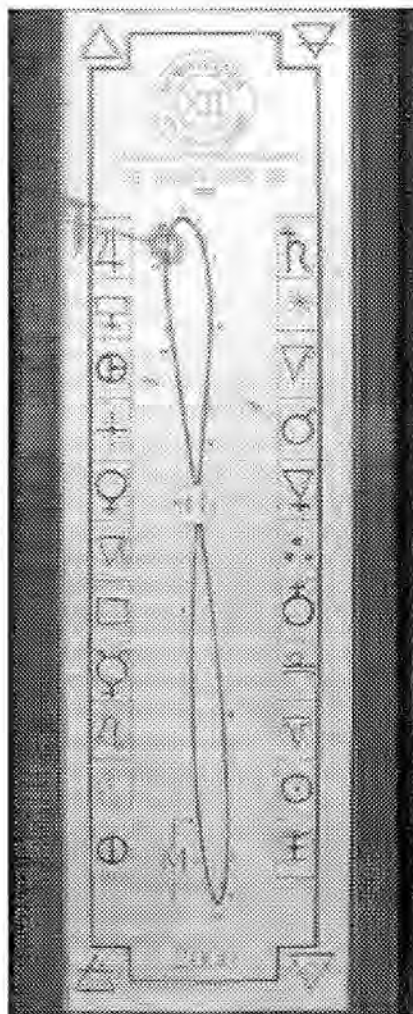
Via via che scorrono le stagioni il cerchio di luce che indica l'ora si sposta lungo la "lemniscata" e in ogni momento dell'anno, Sole permettendo, è visibile in corrispondenza di una data. Il primo giorno di ogni mese è contrassegnato dai numeri da 1 a 12, incisi accanto alla curva.

Oltre al primo giorno di ogni mese la Meridiana evidenzia quattro altri punti particolarmente significativi: due punti estremi, in alto e in basso, indicanti rispettivamente la data del solstizio d'estate

² Per consentire l'esatta collocazione del sistema di lenti, l'asta non può essere lunga 60 cm. ma, nel nostro caso, 59.4 cm. Occorre infatti considerare, per le ragioni già accennate in merito alla struttura della vetrata, che l'immagine si forma a 3 mm di distanza da ciascuna delle sue due facce e che il sistema di lenti ha uno spessore di 6 mm, con il suo centro dunque a 3 mm di distanza dai suoi due bordi paralleli. Un'asta perpendicolare alla vetrata che indichi la posizione del sistema di lenti deve essere dunque lunga 59.4 mm. Quando la sua estremità lambisce il centro della faccia interna del sistema ottico si è raggiunta la posizione geometricamente richiesta per il corretto funzionamento.

(contrassegnato dalle lettere "S e") e quella del solstizio d'inverno (contrassegnato dalle lettere "S i") e due punti che sono toccati dall'immagine luminosa agli equinozi contrassegnati dalle lettere "Eq a" (equinozio d'autunno) e "Eq p" (equinozio di primavera). Questi ultimi sono facilmente riconoscibili perché sono anche l'intersezione della "lemniscata" con la Linea Equinoziale.

Fig. 3

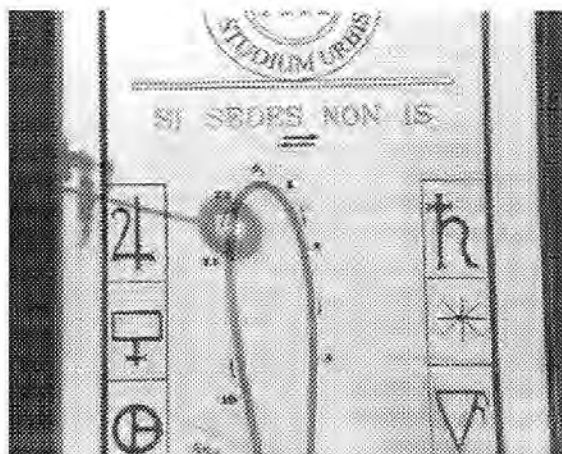


La Meridiana è rivolta a Sud-Ovest, ma non sfugge all'osservatore che la pendenza della Linea Equinoziale, guardandola dall'interno, è verso il basso da sinistra a destra, contrariamente alla regola, nota a tutti gli gnomonisti, dell'andamento verso l'alto da sinistra a destra nel caso si declinazione del quadro verso Sud-Ovest. E' il naturale effetto del ribaltamento di 180°, intorno ad un asse verticale, dell'immagine della Meridiana per trasparenza, con conseguente inversione della pendenza della Linea Equinoziale.

La Figura 3 è una fotografia scattata alle 12 TMEC del 18 novembre 1999; la Figura 4 è un particolare che mostra nitidamente l'immagine del cerchio di luce che sta indicando l'ora.

La Meridiana è stata, come abbiamo detto, oggetto di attenta osservazione quasi quotidiana ed ha rivelato sino ad oggi, in poco meno di un anno di controllo, uno scarto non apprezzabile per quanto concerne la data ed uno scarto di una diecina di secondi nell'indicazione dell'ora. Questo scarto, come è noto a tutti, è destinato a modificarsi leggermente con periodicità quadriennale per effetto del ciclo bisestile, ma i risultati ottenuti finora lasciano prevedere che la differenza rispetto all'ora dell'orologio si manterrà nell'ambito di "una manciata di secondi", come abbiamo scritto nel nostro libretto con un ottimismo che una anno fa poteva sembrare azzardato.

Fig. 4



Siamo lieti di offrire in omaggio a tutti i partecipanti al Seminario una copia del libretto illustrativo, destinato agli studenti, ai quali è stato largamente distribuito.

PER UNA GRAMMATICA DELLA GNOMONICA
EDMONDO MARIANESCHI

ESTRATTO

Viene proposta la costituzione di un gruppo di lavoro formato da gnomonisti aderenti alla Sezione Quadranti Solari dell' U.A.I. con lo scopo di rivedere, al fine di migliorare ed estendere, la nomenclatura, il glossario, le convenzioni usate nella gnomonica nazionale. Alcuni esempi dimostrano l'opportunità di questa iniziativa e la sua utilità specialmente per i giovani principianti.

Riconosco che il titolo della mia comunicazione in questo Seminario è inusitato e strano. Voglio subito rassicurarvi che non c'è intento di attrarre l'attenzione con un stravaganza.

Che cosa è una grammatica? Nel senso corrente della parola è l'insieme delle regole e delle convenzioni cui una lingua deve sottostare perché sia chiaro, inequivocabile e relativamente stabile, il messaggio, scritto o orale, che si desidera trasmettere agli altri. Ogni branca del sapere ha la sua grammatica che va dalla terminologia alle convenzioni sulle abbreviazioni, dai simboli al glossario...

Certamente è capitato a ciascuno di noi trovare, talvolta, faticoso e disagiata seguire, leggendo, una trattazione gnomica a causa della simboleggiatura delle grandezze coinvolte (per esempio, nelle formule trigono-algebriche), usate con criteri non uniformi dai diversi autori. Altre volte è la terminologia che è inesatta, confusa, errata, non uniforme.

Sembrerebbe opportuno che a cominciare da noi stessi, tra gli gnomonisti italiani si diffondesse un sistema di regole unificato e scientificamente corretto; insomma, una grammatica. Ciò ci darebbe lustro anche di fronte agli gnomonisti di altre nazioni.

Un gruppo di lavoro dovrebbe studiare l'argomento e sottoporre le proposte all'Assemblea degli gnomonisti. Dopo approvazione, con impegno personale e associativo, la "grammatica" dovrebbe divenire obbligatoria.

La realizzazione della cosa non dovrebbe essere difficilissima, sia perché esiste una prassi astronomica alla quale è doveroso, per quanto possibile, appoggiarsi, sia perché vi sono glossari a cui attingere (Azzarita-Rini, Severino, Arnaldi, Pavarello-Trinchero, ecc.).

Questo lavoro proposto, che non potrà che essere collegiale, ci darà occasione di attirare l'attenzione su alcuni tranelli che possono mettere in pericolo, oltre la chiarezza, anche la correttezza dei risultati che vogliamo raggiungere.

Parlare per esempi sembra conveniente. Intratteniamoci un momento sull'angolo che è la grandezza più importante usata in gnomonica: infatti, nella realizzazione di un orologio solare, si comincia con il disporre del valore di angoli (latitudine del luogo, declinazione del quadrante, declinazione solare, angoli orari...; questi valori entrano in formule matematiche o costruzioni geometriche, la cui soluzione dà nuovi angoli che

permettono la tracciatura pratica dell'intero quadrante e la sistemazione dello gnomone.

Tutti gli angoli vengono espressi in angoli sessagesimali, ma alcuni valori può capitare di trovarli espressi in angoli centesimali (1 angolo retto diviso in 100 gon), particolarmente quelli provenienti da misure di azimut e di altezza, quando si fa uso di teodoliti e tacheometri provenienti dalla topografia.

Altro sistema di unità per misure angolari è il radiante (rad) che è definito:

1 angolo retto contiene $\pi : 2$ rad.

Questo sistema non è usato in gnomonica, salvo che non siano coinvolte operazioni di calcolo infinitesimale.

I militari usano per la stima di distanze per il puntamento di armi una particolare unità che chiamano millesimo (simbolo $^{\circ}$) che è circa 1 millesimo dell'angolo radiante; questa unità, che può insinuarsi nel campo di nostro interesse attraverso il mercato occasionale dei "surplus", non va assolutamente impiegata perché non sufficientemente precisa.

Ricordiamo anche la misura di angoli in unità temporali (15° corrispondono ad 1 ora) impiegate spesso nell'espressione delle longitudini.

A proposito delle longitudini, nella nostra grammatica dovrà essere definito il segno algebrico di questa misura. Di solito si applica la convenzione:

a Est del meridiano di riferimento, segno negativo; ma alcuni la pensano diversamente.

Aggiungiamo, infine: Tutti i sistemi di misura angolare esprimibili con numeri complessi, possono essere scritta in forma decimale, come nella seconda colonna della tabellina:

	si	no
$42^{\circ} 12' 35''$	42,20972°	42°,20972
$3^h 40^m 15^s$	3,67083 ^h	3 ^h ,67083

La terza colonna è erronea.

Un esempio di improprietà terminologica lo abbiamo nella stessa denominazione dell'oggetto dei nostri appassionati interessi. Tutti noi diciamo, con più o meno frequenza:

- meridiana
- quadrante solare
- orologio solare.

La prima denominazione è chiaramente impropria e dovrebbe usarsi esclusivamente per gli orologi solari che marciano soltanto il mezzogiorno e che hanno, pertanto, una sola linea oraria (la meridiana).

La seconda denominazione dovrebbe indicare la sola superficie dove si proiettano le linee orarie e diurne con le cifre e i dati calendariali, i motti, ecc.

Lo gnomone sarebbe escluso dal quadrante, come le sfere (lancette) sono escluse dal quadrante dell'orologio.

Rimarrebbe la denominazione "orologio solare" come la più corretta e propria.

Altri termini da rivedere sono: gnomone e stilo; declinazione gnomonica e relativo segno algebrico; reclinazione...

Nel campo della nomenclatura. Vi è da vedere anche la definizione di fuso orario e meridiano (centrale) del fuso orario che è piuttosto confusa.

Un vasto settore da bonificare è quello delle abbreviazioni convenzionali delle grandezze che entrano in formule e disegni. Sono, ora, pochissime le abbreviazioni che vengono usate in modo abbastanza ricorrente: ricordo φ per la latitudine, λ per la longitudine, h per l'altezza, δ per la declinazione solare.

Qui, nella unificazione e razionalizzazione della simbologgiatura, bisognerà tenere conto delle esigenze dell'informatica.

Come si sarà già compreso, non si tratterà, nel lavoro proposto, di mettere giù solo un nuovo glossario o un elenco di "voci", ma anche di stendere una specie di prontuario di nozioni essenziali necessarie per correttamente e chiaramente scrivere e parlare di gnomonica.

GNOMONICA A QUMRAN
EDMONDO MARIANESCHI

ESTRATTO

Tra le rovine della località essena di Qumran in Palestina è stato ritrovato nel 1954 uno strano oggetto di pietra, discoforme con solchi concentrici ed un foro assiale, che a distanza di quaranta anni dalla scoperta è stato interpretato da specialisti come uno strumento gnomonico capace di alcune rilevazioni astronomiche calendariali. E' l'unico esemplare mai rinvenuto sia in Palestina che altrove.

Dopo la scoperta nel 1951 del Centro esseno di Qumran, in prossimità delle famose grotte del Mar Morto (Palestina), furono intrapresi scavi sistematici ad opera di specialisti sotto la soprintendenza di rinomate Università. Fra i tanti ritrovamenti, specialmente scritti su papiro o pergamena, emersero anche oggetti vari tra cui uno strano piccolo disco in pietra calcarea a cui, inizialmente, non si riuscì a dare una funzione ed un nome. Ma nel 1994, dopo quaranta anni dal ritrovamento, due esperti in calendaristica storica e misura del tempo (M.Albani e U.Glessmer, tedeschi) ripresero a considerare l'oggetto, e come prima supposizione dissero trattarsi di un orologio solare ⁽¹⁾.

Ma quando nel 1997 uscì una dettagliata pubblicazione di Albani e Glessmer, gli autori furono più prudenti e chiamarono l'oggetto "strumento per misure astronomiche".

Il lavoro di Albani e Glessmer ⁽²⁾ è molto dettagliato ma non sempre molto chiaro e, comunque, appare destinato a specialisti di archeologia medio-orientale.

Il reperto esseno è visibile in Fig. 1 e Fig. 2. Si tratta di un disco di pietra calcarea del diametro di 145 mm e spessore circa 30 mm; la faccia inferiore è irregolare; la superiore, meno danneggiata, è scolpita, di forma concava con quattro solchi ad anello concentrici; tra i solchi vi sono delle graduazioni circonferenziali (corone); al centro del disco vi è un foro cieco del diametro di 8 mm e profondità 10 mm circa.

Questo foro sicuramente ospitava un bastoncino di lunghezza non nota, con funzione di gnomone generatore di ombra sul quadrante concavo. Se la lunghezza dello gnomone è fatta 36 mm (1/4 del diametro del disco), l'estremità dell'ombra a mezzo-giorno vero dei giorni di solstizio e di equinozio, cade sulle corone graduate (Vd.Fig.3).

Le tre corone graduate hanno rispettivamente 60 - 78 - 84 graduazioni.

Si noti che i tre numeri sono divisibili per 6, cioè le divisioni sono parasessagesimali ⁽³⁾.

In Palestina, il giorno chiaro solstiziale estivo dura 14 ore (equinoziali), cioè, 840 minuti; il giorno equinoziale dura 12 ore, cioè, 720 minuti; il giorno chiaro solstiziale invernale dura 10 ore, cioè, 600 minuti. Dividendo 840 - 720 - 600 per 10, abbiamo rispettivamente 84 - 72 - 60 che sono numeri

proporzionali alle durate delle giornate chiare ai solstizi e agli equinozi.

Secondo Albani e Glessmer si hanno altre sorprendenti coincidenze, come i rapporti tra il numero delle graduazioni di una corona e le graduazioni corrispondenti spazzate dall'ombra dello gnomone in un giorno chiaro: i rapporti sarebbero proporzionali a 12 e, quindi, permetterebbero le divisioni del tempo tra l'alba ed il tramonto in ore temporarie.

Bisogna per la verità dire che il sottoscritto non è riuscito a trovare queste "sorprendenti coincidenze" dichiarate, forse per poca ⁽⁴⁾ chiarezza del testo o delle figure, pur disegnate con buon tratto, o per difficoltà di lettura delle graduazioni....

Del resto, in tutto l'articolo da me recensito, si notano riserve e incertezze, con un forte fondo di prudenza. Il lavoro di cui abbiamo parlato è di ben 17 pagine e 18 figure ed è ricco di riferimenti e confronti. Sembra a chi legge che l'interessante lavoro non sia destinato direttamente agli gnomonisti, ma piuttosto agli intenditori di cose medio-orientali. La precisione stimata dello strumento da parte degli autori è di 1/3 di ora.

Nelle CONCLUSIONI vi è una esortazione ai lettori di partecipare alla discussione per svelare ogni segreto dello strano ma interessante strumento che coinvolge fortemente la storia della gnomonica. Esortazione che io giro a voi, cari colleghi.

1) A.Schick, Il fascino di Qumran, Città del Vaticano, 1988

(2) *Révue Biblique*, Gennaio 1997, pagg.88/115

(3) Lo stato danneggiato del reperto non permette conteggi precisi e sicuri.

(4) Il testo (in francese), forse, risente della traduzione dal tedesco, lingua madre degli autori.



Fig.1 (da M. Albani e U. Glessmer (2)). Vista del disco di pietra dall'alto, con i quattro solchi e le tre graduazioni. Il diametro del disco è 145 mm.

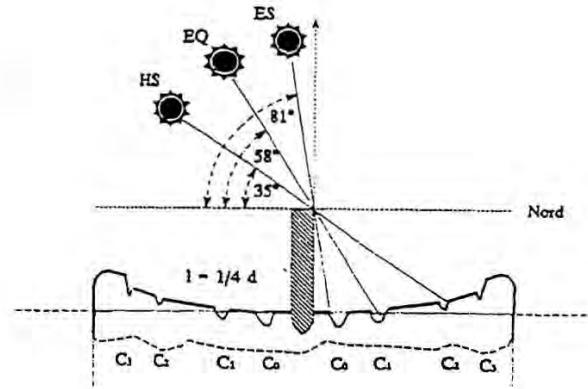


Fig. 3 (da M. Albani e U. Glessmer). Sezione meridiana del disco. A mezzo - giorno vero, agli equinozi e ai solstizi, l'estremità dell'ombra cade sui solchi anulari, quando la lunghezza dello gnomone è $1/4$ del diametro del disco. E' evidente la concavità della superficie superiore del disco che permette l'introduzione di acqua per consentire il livellamento dello strumento (2).

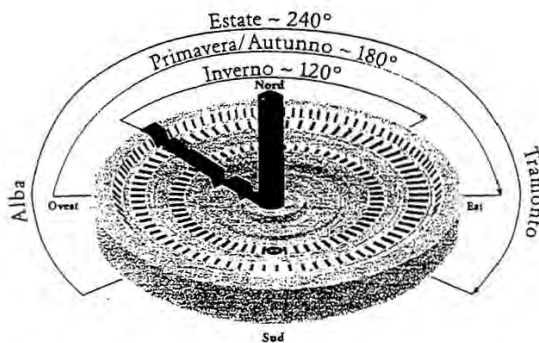


Fig. 2 (da A. Schick (1)). Il movimento dell'ombra avviene attorno allo gnomone centrale. La direzione del Sud del quadrante è individuata da un cerchietto inciso su una corona graduata interna.

SUL GLOBO DI MATELICA COME GNOMONE DI UN OROLOGIO ORIZZONTALE

ALBERTO NICELLI

ESTRATTO

Si propone un nuovo studio sul Globo di Matelica inteso come gnomone sferico per un orologio orizzontale a ore temporarie: è un' inedita interpretazione del reperto che spiega la lettura dei terminatori e lo scopo dei fori, sede di piccoli ornamenti in rilievo la cui ombra si proiettava su un tracciato orizzontale di linee orarie e calendariali. La trattazione si estende anche agli altri possibili sistemi orari, babilonico, italico e astronomico, e rappresenta quindi, a prescindere dalle ipotesi sul Globo, la descrizione di un completo orologio con l'ombra di una sfera.

Il Globo di Matelica è considerato un orologio a terminatore d'ombra e questa interpretazione è già stata dimostrata come assai verosimile (vedi *Bibliografia*), tuttavia ci sono ancora alcuni aspetti del reperto che non sono ancora stati spiegati in modo definitivo e lasciano spazio a ulteriori analisi e altre interpretazioni. Per esempio la presenza dei fori: forse non erano essi stessi gli indicatori dei punti orari, ma vi erano incastonati degli indicatori più evidenti ed eleganti, come pietre preziose oppure ornamenti in metallo o in legno ... Una teoria sostiene che l'ombra proiettata dal bordo del foro sulle pareti della cavità era invece utile per determinare il passaggio del terminatore con maggiore precisione ... Un'altra teoria si basa sullo stesso concetto, ma propone che fossero sede di piccoli gnomoni, in modo da rilevare il passaggio del terminatore dall'estinzione dell'ombra della superficie sferica sullo stilo (*Bibl. 1.*) ... Comunque sia la lettura dell'ora non era per nulla immediata, anche perché non avveniva solo in corrispondenza dei fori: come facevano a determinare sulla superficie convessa della sfera l'evanescente linea di separazione luce-ombra? Esperimenti effettuati sul reperto (*Bibl. 2.*) hanno evidenziato che l'identificazione del terminatore è assai difficoltosa, anche in condizioni di intensa illuminazione! Consideriamo per esempio i cerchi calendariali incisi sulla parte boreale del Globo: la distanza fra i due cerchi più esterni, corrispondenti ai solstizi e ai mesi contigui, è paragonabile all'incertezza di lettura del terminatore! Quindi non solo l'ora, ma anche la data non è di agevole lettura! Forse per l'antico ideatore di questo orologio l'immediatezza e la precisione erano d'importanza secondaria, ma è una spiegazione che non soddisfa fino in fondo, perché in questo reperto possiamo riconoscere delle idee sottili, che dimostrano una straordinaria e raffinata ricerca di precisione! Questo studio tenta allora un'altra interpretazione, non necessariamente in contrasto con quella fino ad oggi accettata, ma decisamente più ampia e forse più esaustiva: i lettori che vorranno approfondire l'argomento potranno giudicare se è da considerarsi una teoria attendibile o solo una possibile applicazione gnomonica!

UNA SFERA COME GNOMONE

Prendiamo una sfera, meglio ancora se è di dimensioni paragonabili a quella di Matelica (circa 30 cm di diametro), e appoggiamola per terra ... guardiamo con attenzione la sua ombra: ha una forma ovale con un

bordo netto e assai ben definito! Ci convinciamo subito che l'ombra è un' ellisse perfetta, basta pensare che è la proiezione sul piano di un cerchio, quel cerchio massimo che è la sezione della sfera con un piano ortogonale ai raggi del Sole. La circonferenza del cerchio è il terminatore ... Allora il bordo dell'ombra non è altro che la proiezione del terminatore!



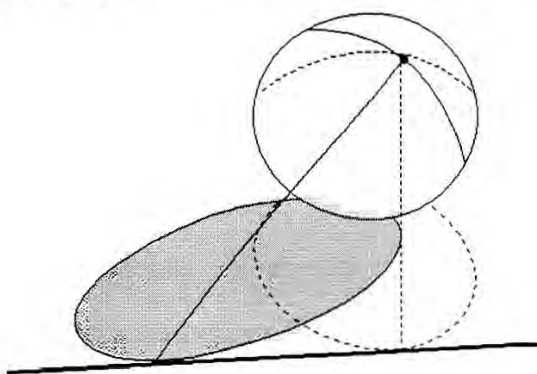
Una volta realizzato questo concetto le idee si susseguono una dopo l'altra: in ogni momento i raggi del Sole tangenti al Globo di Matelica sono le rette generatrici di un cilindro e ad ogni ora temporaria, quando il terminatore passa su un foro, una generatrice è tangente alla sfera proprio in quel punto orario. Se nel foro fosse incastonato un piccolo gnomone, o un ornamento in rilievo, di forma opportuna e poco sporgente, la sua ombra emergerebbe da quella della sfera solo all'ora che gli compete! Come un "rintocco" allo scoccare dell'ora! A diverse declinazioni del Sole quella generatrice cambia direzione, perché è sempre ortogonale al terminatore, ma resta tangente alla sfera in quel punto orario! Quindi si muove nel piano tangente alla sfera in quel punto, che essendo un piano interseca il piano orizzontale in una linea retta! Questo significa che al variare delle stagioni la comparsa dell'ombra dello gnomone sul profilo dell'ellisse seguirà quella retta e che l'ellisse si manterrà

X Seminario Nazionale di Gnomonica SUL GLOBO DI MATELICA

tangente ad essa ... Ma questa è la descrizione di una **linea oraria** ! Forse si intravede una nuova possibile interpretazione del Globo di Matelica : era una **sfera-gnomone** per un orologio orizzontale ?

IL QUADRANTE DELL' OROLOGIO

Conoscendo le coordinate dei fori sul Globo (*Bibl. 4.*) e traducendo il ragionamento che abbiamo appena fatto nel linguaggio della geometria analitica e della trigonometria (App. A.1) possiamo ricavare l'equazione e il grafico di tutte le linee orarie. Per determinare il segmento di retta effettivamente percorso dal punto di tangenza dell'ellisse è sufficiente considerare le proiezioni ai solstizi di ogni punto orario.



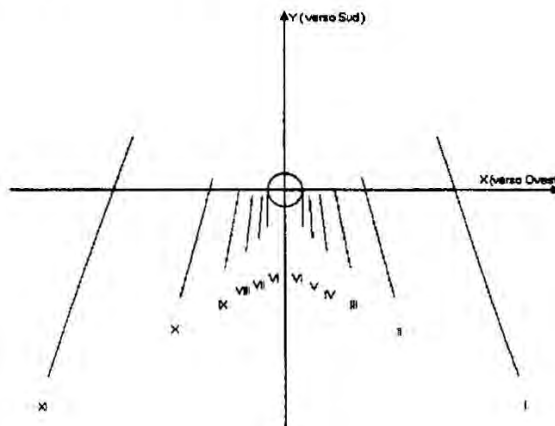
La seguente tabella riporta le coordinate degli estremi solstiziali per una latitudine di 43 gradi : l'unità di misura è il raggio della sfera. Essa si considera appoggiata nell'origine degli assi cartesiani, il cui verso positivo delle ascisse e delle ordinate è diretto rispettivamente verso Ovest e verso Sud :

ORE TEMPORARIE (raggio della sfera = 1)				
Latitudine = 43°				
ora	X estate	Y estate	X inverno	Y inverno
1	8,635	3,245	13,444	-11,338
2	4,309	0,720	6,180	-6,557
3	2,760	-0,011	3,664	-4,794
4	1,921	-0,284	2,351	-3,745
5	1,380	-0,367	1,540	-2,957
6	1	-0,355	1	-2,293
6	-1	-0,355	-1	-2,293
7	-1,380	-0,367	-1,540	-2,957
8	-1,921	-0,284	-2,351	-3,745
9	-2,760	-0,011	-3,664	-4,794
10	-4,309	0,720	-6,180	-6,557
11	-8,635	3,245	-13,444	-11,338

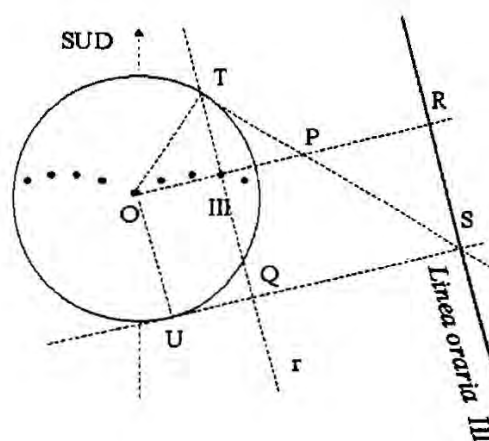
Si noti che alla sesta ora temporaria, cioè a mezzogiorno vero, sono due i punti orari che si proiettano sul piano, quelli relativi ai fori a Est e a Ovest del Globo : è significativo che sul reperto siano entrambi contrassegnati con la *sesta* lettera dell'alfabeto greco ! Inoltre è ovvio

S.Benedetto del Tronto – 6, 7, 8 / 10 / 2000
ALBERTO NICELLI

che all'ora 0 e all'ora 12 manchino le corrispondenti linee orarie, perchè sono rette improprie all'infinito. Ed ecco il quadrante di questo ipotetico orologio a gnomone sferico :

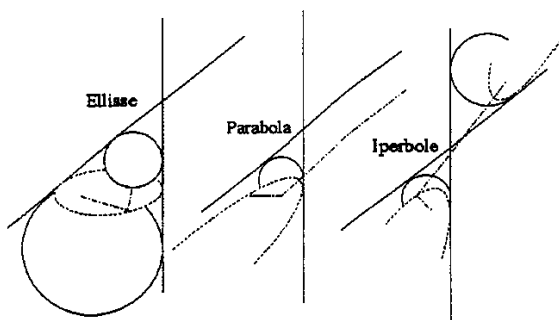


Il cerchio rappresenta la proiezione del Globo di Matelica. Ma l'idea di questo orologio era poi realizzabile dagli antichi ? Non consideriamo il fatto che potevano benissimo ricorrere a metodi empirici, come per esempio segnare due o più punti dove appariva l'ombra di uno gnomone a distanza di qualche mese e poi tracciare la linea retta ... Per rispondere a questa domanda abbiamo diverse possibilità : innanzitutto se erano in grado di progettare i fori orari vuol dire che ne conoscevano le posizioni sulla sfera e quindi erano in grado di trovarne la proiezione ortogonale sul piano orizzontale, dopodichè era possibile disegnare le linee orarie con una semplice costruzione geometrica :



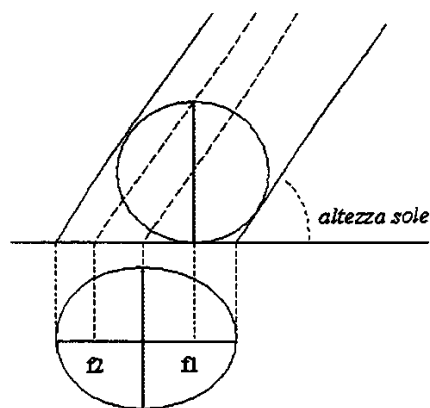
In figura è rappresentata la proiezione ortogonale sul piano orizzontale del Globo e dei suoi punti orari. Tracciamo la retta *r* perpendicolare alla congiungente il punto O (che è anche la proiezione dello zenit del Globo) con la proiezione del punto orario (per esempio quello dell'ora terza) e consideriamo il raggio OT come il ribaltamento sul piano orizzontale del raggio che dal

centro della sfera va al punto orario: la tangente al cerchio in T incontra la tangente UQ, perpendicolare a r , nel punto S. La retta SR passante per S e parallela a r è la linea oraria cercata. Si noti che ST rappresenta il piano tangente alla sfera nel punto orario T: la linea oraria SR è la sua traccia sul piano orizzontale, rappresentato da US. Per individuare anche gli estremi solstiziali si poteva ricorrere alle classiche costruzioni basate sull'analemma: il segmento TQ si può considerare come un ortostilo fittizio con la punta T coincidente col foro sulla sfera e con la base Q nella sua proiezione orizzontale. Un' altro metodo che potevano usare si basa su un'interessante proprietà dell'ombra di una sfera appoggiata su un piano: **il punto di contatto è sempre un fuoco dell'ellisse!** Poteva sfuggire ai sapienti geometri greci? Ce ne convinciamo subito tenendo conto che l'ellisse è l'intersezione di un piano tangente alla sfera con un cilindro, le cui generatrici (i raggi solari) sono tutte tangenti alla sfera; il cilindro si può considerare come il limite di un cono con apertura tendente a zero, quindi la dimostrazione è esattamente la stessa del teorema di Dandelin (1822), che ci servirà anche nel seguito di questo studio: *i fuochi di una conica, intersezione fra un piano e un cono, sono i punti di contatto col piano delle sfere tangenti ad esso e a tutte le generatrici del cono* (Bibl. 5. e 6.).

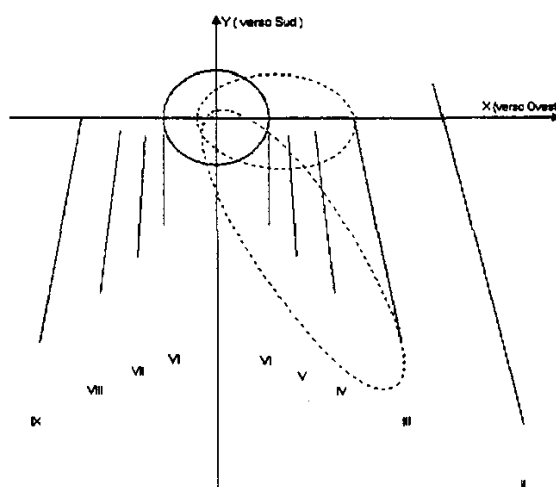


La dimostrazione è talmente elementare che sarebbe un esercizio alla portata di uno studente di liceo: non è probabile allora che fosse già nota agli antichi geometri Greci, inventori delle sezioni coniche e finissimi teorici di solidi inscritti e circoscritti? Fin dal III secolo a.C. infatti la teoria sulle Coniche era avanzatissima, come dimostra il capolavoro di Apollonio (un trattato di ben 8 libri, di cui è andato perduto l'ultimo), e i profondi studi sulla Sfera, il Cilindro e i Coni ci sono testimoniati dalle opere di Archimede. Vere "summae" teoriche di secoli di conoscenze erano anche gli *Sphaerica* di Teodosio (II-I sec. a.C.) e l'omonimo trattato di Menelao (I sec. d.C.) ... E chissà quante opere di geometria non ci sono pervenute a causa di guerre, incendi e distruzioni di intere biblioteche! Può essere credibile allora che Dandelin abbia semplicemente riscoperto un teorema già noto anticamente! Con la costruzione di Dandelin applicata al cilindro si può anche verificare che il secondo fuoco dell'ellisse si poteva trovare molto facilmente, perché coincide con il punto dove si proietta lo zenit della sfera parallelamente ai raggi solari. Inoltre è immediato constatare che l'asse minore è sempre uguale al diametro

della sfera: allora conoscendo i fuochi e un diametro era facile ricavarsi tutti i parametri dell'ellisse e disegnare l'ombra della sfera per qualsiasi ora del giorno, ovvero per qualsiasi altezza e azimut del Sole, che sapevano determinare con l'analemma ...



Quindi per progettare le linee orarie bastava disegnare per una stessa ora le due ellissi d'ombra relative ai solstizi e poi tracciare la linea retta tangente a entrambe! I punti di tangenza indicavano anche gli estremi della linea oraria! Come esempio sono state riportate sul quadrante le ombre corrispondenti ai solstizi all'ora terza, calcolate con la geometria analitica e la trigonometria (App. A.3):



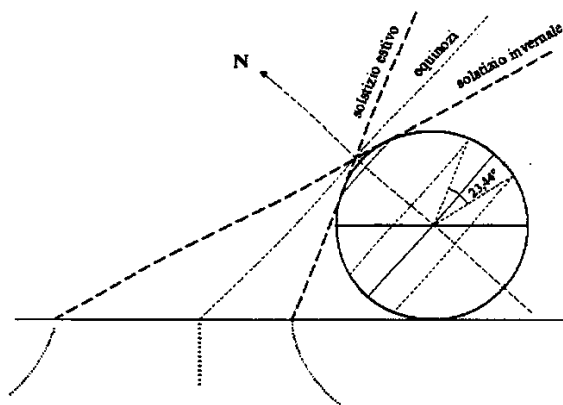
Il lettore può immaginare lo spostamento tangenziale dell'ellisse lungo la linea oraria al variare della declinazione del Sole ... Ovviamente per le ore pomeridiane la tangenza va rilevata sulla semi-ellisse dalla parte opposta rispetto all'asse maggiore: infatti è sempre la proiezione dell'arco superiore del terminatore quella che determina l'ora (Bibl. 1. e 2.). Il punto della tangenza era comunque evidenziato dall'apparizione dell'ombra dello gnomone, la cui forma poteva migliorare notevolmente la precisione del "rintocco": bastava che il punto di contatto col Globo fosse ben riconoscibile sull'ombra. Il profilo dell'ellisse si stagliava nettamente

X Seminario Nazionale di Gnomonica SUL GLOBO DI MATELICA

sul quadrante : quindi anche fra una linea oraria e l'altra era facile valutare l'ora, semplicemente stimando la tangenza di una linea intermedia.

UN OROLOGIO-CALENDARIO "A CONICHE"

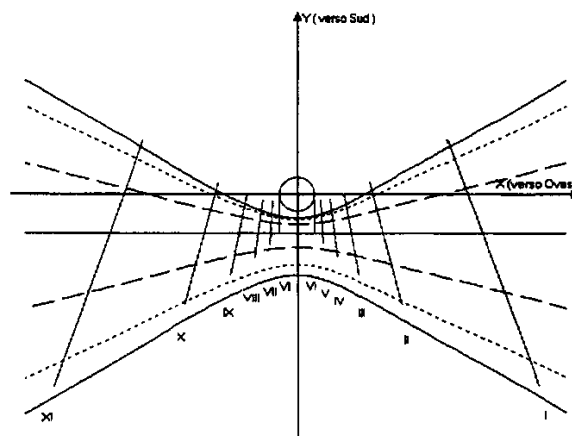
A questo punto è interessante studiare anche il movimento diurno dell'ombra. Consideriamo ancora il cilindro di raggi luminosi tangenti alla sfera : i punti di tangenza delle generatrici giacciono sul terminatore ; sappiamo che per i valori zodiacali della declinazione (cioè quelli corrispondenti all'entrata del Sole nei vari Segni) il terminatore nel suo movimento diurno rimane tangente al rispettivo cerchio calendariale (*Bibl. 1. e 2.*) ... Quindi anche una generatrice del cilindro si muove tangente al cerchio calendariale e il suo movimento genera una superficie conica, la cui intersezione con il piano orizzontale, alle latitudini che ci interessano, è un ramo d'iperbole. Il secondo ramo è determinato dal valore opposto di declinazione ... Possiamo idealmente immaginare una fitta sequenza di cerchi calendariali in funzione della declinazione giornaliera e il risultato rimane ovviamente identico per una data qualsiasi: l'ellisse d'ombra è sempre tangente a un' iperbole !



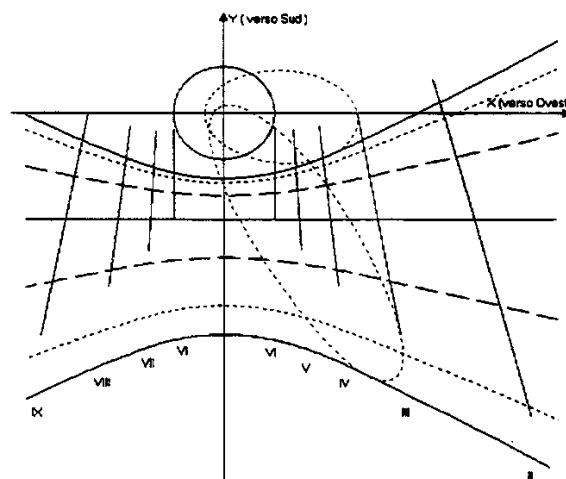
Ovviamente agli equinozi il cono diventa un piano e l'iperbole degenera in una retta. Se si disegnano sul quadrante, oltre alle linee orarie, anche le iperboli e la retta equinoziale si ottiene un' alternativa decisamente più precisa all' identificazione del terminatore sui cerchi calendariali ! Questa nuova interpretazione del Globo sembra coerente : non solo la lettura dell'ora, ma anche quella della data era molto più agevole sull'orologio orizzontale ! Abbiamo visto che le linee orarie si potevano costruire semplicemente, ma come se la cavavano con le iperboli ? Anche qui dobbiamo ricordare l'enorme sapienza dei Greci sulle coniche ... è difficile credere che non si fossero accorti di un'altra elegante proprietà di questo orologio : il punto d'appoggio della sfera è anche un fuoco delle iperboli diurne ! Noi ce ne possiamo subito convincere ricorrendo ancora una volta al teorema di Dandelin : la sfera è tangente sia alle generatrici del cono che al piano orizzontale, quindi il punto di tangenza col piano è uno dei due fuochi della conica intersezione ! Questo semplifica notevolmente la costruzione delle iperboli ! Infatti calcolando per due

S.Benedetto del Tronto – 6, 7, 8 / 10 / 2000
ALBERTO NICELLI

valori opposti di declinazione l'estensione dell'ombra all'ora sesta si trova subito la posizione dei vertici dei due rami e quindi anche la posizione del secondo fuoco : la conoscenza dei vertici e dei fuochi permetteva di tracciarle per punti, semplicemente con riga e compasso ! Seguendo lo stesso ragionamento con la geometria analitica e la trigonometria è possibile dedurre le equazioni delle iperboli per completare l'aspetto del quadrante (App. A.3) :



Si noti che i punti estremi delle linee orarie non appartengono alle iperboli solstiziali perché i punti di tangenza dell'ombra con le linee orarie sono distinti da quelli con le iperboli diurne, come si può apprezzare da questa vista ravvicinata:



UN OROLOGIO ANTICO ... O NUOVO ?

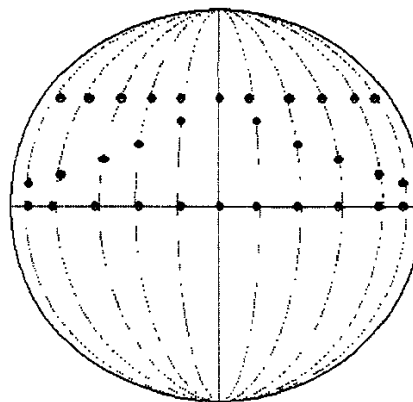
A questo punto bisogna trarre delle conclusioni : il reperto di Matelica faceva davvero da gnomone per un orologio orizzontale ? Il quadrante orizzontale era un' alternativa all'imprecisa imprecisa lettura dei terminatori sulla superficie della sfera ? E i fori ospitavano davvero dei piccoli ornamenti gnomonici per contrassegnare con una fugace ombra l'esatto scoccare delle ore ? Forse è

impossibile dare una risposta definitiva a queste domande senza l'aiuto di ulteriori e fortunate scoperte archeologiche, ma qualche piccolo indizio a favore di questa teoria forse lo possiamo trovare col ragionamento che segue : il lettore tenga però presente che qui procediamo decisamente sull'incerto terreno delle illazioni ! Osservando il quadrante orizzontale si vede che le linee corrispondenti alla prima e undicesima ora lo renderebbero di dimensioni piuttosto grandi : il raggio del Globo è di circa 15 cm quindi il quadrante completo sarebbe di circa 4x2 metri ; è facile che queste due linee estreme fossero omesse per ridurre di circa la metà le sue dimensioni. Sul reperto di Matelica si può osservare un minuscolo forellino vicino ad alcuni fori orari : probabilmente serviva a fissare gli ornamenti gnomonici, che forse erano delle placche di bronzo con un grosso dente incastonato nel foro e uno molto più piccolo per orientarle con qualche criterio, a seconda della loro forma e significato. Ebbene : *vicino ai fori della prima e undicesima ora questi forellini non ci sono !* Analogamente nessun forellino si osserva vicino al foro sullo zenit, che non corrisponde ad alcuna linea oraria ! A dire il vero non si osservano nemmeno vicino ai fori dell'ora sesta, nei punti Est e Ovest, ma questi sono decisamente diversi dagli altri, sono più rozzi e di forma più grande e svasata : sembra credibile l'ipotesi che nella fase di costruzione del Globo alloggiassero i perni di regoli circolari (*Bibl. 2.*). Adibiti a questo scopo risultavano poi troppo usurati e irregolari per incastonarvi le placche di bronzo ... Forse è così, o forse no : sono piccoli indizi, che probabilmente possono trovare anche altre spiegazioni ... Comunque sia, a prescindere dalle ipotesi sul Globo di Matelica, l'orologio fin qui descritto è pur sempre realizzabile e funzionante ! E' possibile adottare anche altri sistemi orari, come quello babilonico, italico o astronomico ! Il concetto è sempre lo stesso : conoscendo i punti orari di questi sistemi sulla sfera si determinano le linee orarie sul piano con il procedimento seguito per le ore temporarie (App. A.2 e A.1.). La teoria delle sezioni coniche e il concetto di tangenza sono la base fondamentale di questo completo orologio-calendario : può risultare ancora più elegante, quindi, se lo si realizza nella sua pura essenzialità, senza fori, gnomoni o altri ornamenti ; la sfera-gnomone può essere perfettamente liscia ! In questo modo a diverse latitudini cambia solo il tracciato di linee orarie e calendariali, ma la sfera rimane sempre la stessa nella sua *indifferente e simbolica perfezione !*

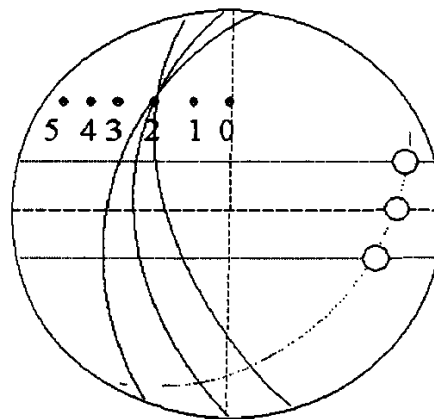
GLI ALTRI SISTEMI ORARI

I punti orari dei sistemi babilonici e italici sono localizzati sul parallelo della sfera corrispondente alla latitudine del luogo, mentre quelli astronomici sono sull'equatore (*Bibl. 3. e 4.*). I punti orari sono distanziati di 15° in longitudine, come i fori del sistema temporario (concettualmente però i veri punti orari temporari non sono punti fissi, perché la loro posizione sulla sfera varia lievemente in funzione della declinazione del Sole : vedi *Bibl. 4. e App. A.1.*). La cuspide dei punti orari temporari, situata sullo zenit, è un punto comune al sistema babilonico e a quello italico,

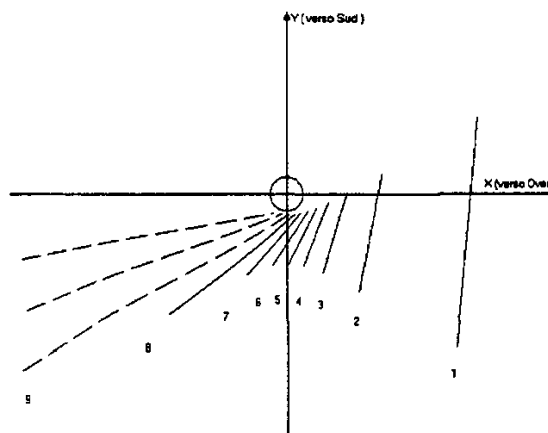
mentre i due punti situati a Est e a Ovest sono comuni anche al sistema astronomico. In figura sono rappresentati tutti questi sistemi orari sulla sfera :



I punti orari babilonici sono quelli che vanno dal meridiano verso Ovest fin dietro al Globo. In figura sono rappresentati come esempio i terminatori corrispondenti ai solstizi e agli equinozi alle ore 2 babiloniche:



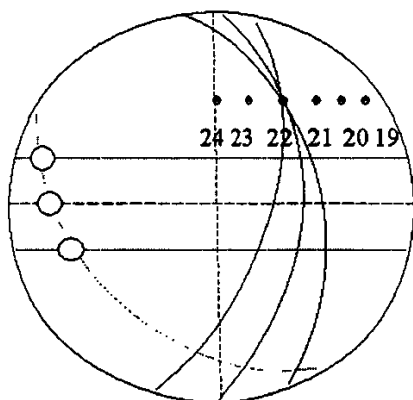
Ecco come appare il quadrante calcolato per le ore babiloniche (latitudine 43°):



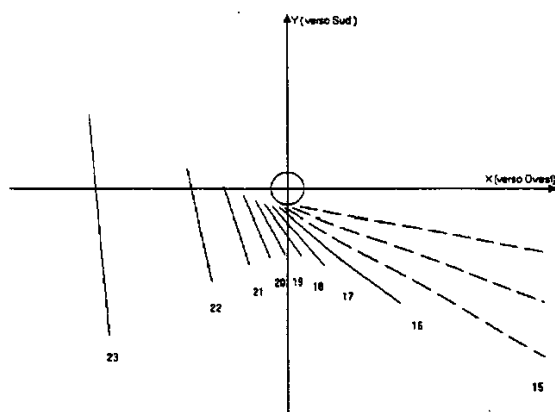
Per brevità non sono riportate tabelle numeriche. Le linee cominciano a essere indicate in tratteggio quando al

X Seminario Nazionale di Gnomonica SUL GLOBO DI MATELICA

solstizio d'inverno a quell'ora il Sole è già tramontato : bisogna determinarle con un altro punto, corrispondente a una declinazione tale per cui il Sole è ancora sopra l'orizzonte . I punti orari del sistema italico, invece, sono quelli che da dietro al Globo arrivano al meridiano dalla parte Est. In figura sono rappresentati i terminatori corrispondenti ai solstizi e agli equinozi alle ore 22 italiane :

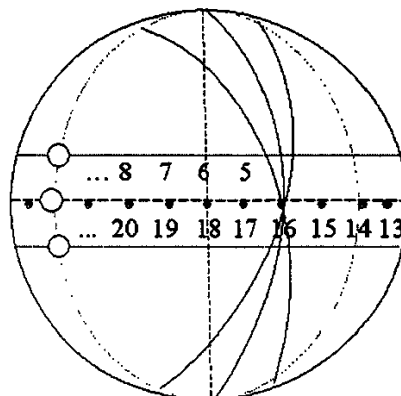


Le linee orarie italiane (latitudine 43°) risultano ovviamente speculari a quelle babiloniche rispetto al meridiano :

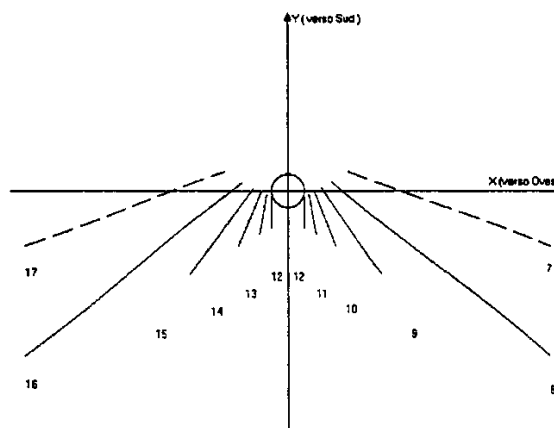


I punti orari astronomici giacciono solo su una semicirconferenza dell'equatore, quella che il Primo Verticale stacca verso Sud : infatti come per il sistema temporario è conveniente far sempre riferimento agli archi superiori dei terminatori (*Bibl. 1. e 2.*), in questo modo si determina un' analoga discontinuità di 180° nel progredire dei punti orari, che si interrompono nel punto di Ovest (ore 12) e ricominciano da Est (sempre dalle ore 12). Si noti che per i punti orari babilonici e italici non conviene adottare questa convenzione perché le corrispondenti linee orarie orizzontali non hanno un'asse di simmetria e il loro sviluppo "avvolgente" subirebbe un salto ingiustificato e antiestetico. In figura sono rappresentati i terminatori ai solstizi e agli equinozi alle ore 16 astronomiche : ovviamente per la convenzione sopra descritta alcuni punti orari indicano sia le ore antimeridiane che quelle pomeridiane ...

S.Benedetto del Tronto – 6, 7, 8 / 10 / 2000 ALBERTO NICELLI



Nel quadrante a ore astronomiche (latitudine 43°) la linea oraria delle 12 è doppia, come in quello delle ore temporarie, perché a quell'ora sono due i punti gnomonici che si proiettano sul piano:



APPENDICI MATEMATICHE

Per una scorrevole lettura le dimostrazioni matematiche sono confinate in diverse appendici richiamate dal testo : il lettore può benissimo ignorarle senza alcun pregiudizio sulla comprensione dei risultati esposti, ma forse saranno utili allo studioso che volesse verificarli .

A.1

L'equazione delle linee orarie si può trovare conoscendo le coordinate dei punti orari sulla sfera. Le coordinate sferiche equatoriali per le ore temporarie sono state calcolate in *Bibl. 4.*, esse però dipendono dalla declinazione del Sole, perché i punti orari temporari sulla sfera non sono punti fissi, ma descrivono delle figure a forma di V in cui i due vertici superiori corrispondono ai solstizi e la cuspidine inferiore agli equinozi. Quindi anche le linee orarie non sono esattamente delle rette. Tuttavia, come dimostrato quantitativamente nel riferimento citato, per latitudini basse o intermedie questa dipendenza è molto lieve per cui si possono usare senza errore sensibile le coordinate relative agli equinozi (o anche a quelle

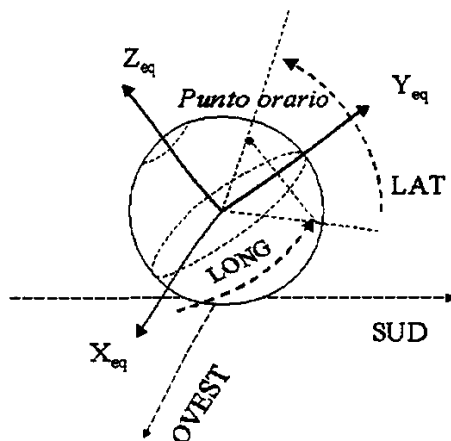
**X Seminario Nazionale di Gnomonica
SUL GLOBO DI MATELICA**

medie del centro della V, ma le formule sono più ingombranti e l'accuratezza che se ne ottiene è insignificante):

$$LAT = \arctg \left[\left| \frac{6-OT}{6} \right| \cdot \operatorname{tg} \varphi \right]$$

$$LONG = (6-OT) \cdot 15^\circ + 180^\circ \cdot \operatorname{int} \left(\frac{OT}{7} \right)$$

dove φ è la latitudine del luogo, OT è l'ora temporaria e la longitudine è calcolata da Ovest in senso diretto.



Quindi le coordinate cartesiane equatoriali (considerando unitario il raggio della sfera) sono:

$$X_{eq} = \cos(LAT) \cdot \cos(LONG)$$

$$Y_{eq} = \cos(LAT) \cdot \sin(LONG)$$

$$Z_{eq} = \sin(LAT)$$

Da queste, con una rotazione intorno all'asse delle ascisse, si ricavano le coordinate riferite all'orizzonte del Globo:

$$Y_{or} = Y_{eq} \cdot \cos(90^\circ - \varphi) - Z_{eq} \cdot \sin(90^\circ - \varphi)$$

$$Z_{or} = Y_{eq} \cdot \sin(90^\circ - \varphi) + Z_{eq} \cdot \cos(90^\circ - \varphi)$$

$$X_{or} = X_{eq}$$

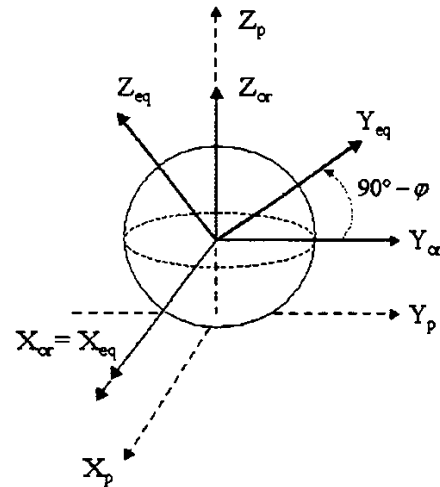
E quelle rispetto al piano d'appoggio orizzontale:

$$Y_p = Y_{or}$$

$$Z_p = Z_{or} + 1$$

$$X_p = X_{or}$$

S.Benedetto del Tronto - 6, 7, 8 / 10 / 2000
ALBERTO NICELLI



In questo sistema di riferimento il vettore che dal centro della sfera individua i punti orari è quello di componenti:

$$(X_p - 0, Y_p - 0, Z_p - 1)$$

Quindi l'equazione del piano passante per il punto orario e tangente alla sfera è:

$$(X - X_p) \cdot X_p + (Y - Y_p) \cdot Y_p + (Z - Z_p) \cdot (Z_p - 1) = 0$$

che interseca il piano d'appoggio orizzontale $Z = 0$ nella retta:

$$(X - X_p) \cdot X_p + (Y - Y_p) \cdot Y_p - Z_p \cdot (Z_p - 1) = 0$$

Siccome il raggio della sfera è uguale a 1 deve essere:

$$X_p^2 + Y_p^2 + (Z_p - 1)^2 = 1$$

quindi otteniamo questa semplice equazione che rappresenta la retta oraria:

$$X \cdot X_p + Y \cdot Y_p - Z_p = 0$$

Per calcolare gli estremi del segmento effettivamente percorso dal punto di tangenza dell'ellisse al variare della declinazione del Sole consideriamo ogni punto orario sulla sfera come la punta di un ortostilo di altezza Z_p e posizionato in X_p e Y_p : le coordinate degli estremi si ottengono applicando le seguenti formule, con l'altezza h e l'azimut Az del Sole calcolati a quell'ora temporaria e alla declinazione dei solstizi:

$$X_{estr} = -Z_p \cdot \cot(h) \cdot \sin(Az) + X_p$$

$$Y_{estr} = -Z_p \cdot \cot(h) \cdot \cos(Az) + Y_p$$

L'altezza e l'azimut si ricavano dalle note formule:

$$\text{sen}(h) = \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(H)$$

$$\tan(Az) = \frac{\text{sen}(H) \cdot \cos(\delta)}{\cos(\delta) \text{sen}(\varphi) \cos(H) - \text{sen}(\delta) \cos(\varphi)}$$

dove δ è la declinazione del Sole e H il suo l'angolo orario. Rimane solo da esprimere l'angolo orario in funzione della generica ora temporaria OT :

$$H = -\left(\frac{6 - OT}{6}\right) \cdot \arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\varphi))$$

E' utile notare che se inseriamo le coordinate degli estremi solstiziali nell'equazione della retta oraria (o anche di altri punti corrispondenti a diverse declinazioni) esse in generale non la soddisfano esattamente, ovvero il risultato non fa proprio zero, perché le linee orarie temporarie non sono esattamente delle rette ! Lo scarto è comunque trascurabile, come dimostrano i valori di questa tabella :

Ora temporaria	Solstizio estivo	Solstizio invernale
1	0,020	-0,038
2	0,015	-0,031
3	0,010	-0,022
4	0,006	-0,014
5	0,002	-0,006
6	0,000	0,000
7	0,002	-0,006
8	0,006	-0,014
9	0,010	-0,022
10	0,015	-0,031
11	0,020	-0,038

A.2

Il procedimento per calcolare le linee orarie dei sistemi babilonico, italico e astronomico è del tutto analogo a quello illustrato in A.1 per il sistema temporario : cambiano soltanto le coordinate sferiche dei punti orari e l'espressione dell'angolo orario del Sole in funzione delle rispettive ore (che indicheremo rispettivamente con OB , OI e OA). In questi sistemi i punti orari sulla sfera sono punti fissi e le linee orarie sono esattamente delle rette : qualsiasi punto appartenente ad esse deve quindi soddisfare *esattamente* l'equazione della retta oraria.

BABILONICHE

$$LAT = \varphi$$

$$LONG = 90^\circ - OB \cdot 15^\circ$$

$$H = -\arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\varphi)) + OB \cdot 15^\circ$$

ITALICHE

$$LAT = \varphi$$

$$LONG = 90^\circ + (24 - OI) \cdot 15^\circ$$

$$H = \arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\varphi)) - (24 - OI) \cdot 15^\circ$$

ASTRONOMICHE

$$LAT = 0$$

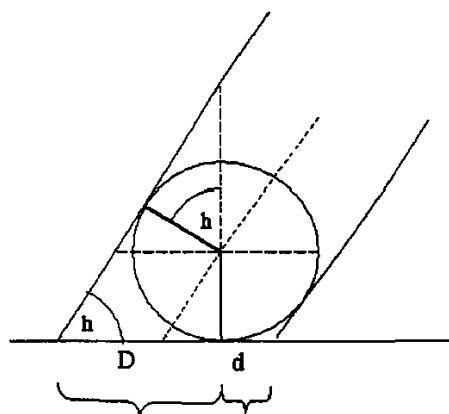
$$LONG = (12 - OA) \cdot 15^\circ + 180^\circ \cdot \text{int}\left(\frac{OA}{13}\right)$$

$$H = (OA - 12) \cdot 15^\circ$$

A.3

L'equazione dell'ellisse d'ombra

Gli estremi dell'asse maggiore dell' ellisse d'ombra distano rispettivamente D e d dal punto di appoggio della sfera, che è uno dei due fuochi :



Dalla figura, dove h indica l'altezza del Sole e il raggio della sfera è considerato unitario, si ricava:

$$D = \frac{\left(1 + \frac{1}{\cos(h)}\right)}{\tan(h)} = \frac{1 + \cos(h)}{\sin(h)} = \cot\left(\frac{h}{2}\right)$$

e analogamente :

$$d = \frac{1 - \cos(h)}{\sin(h)} = \tan\left(\frac{h}{2}\right)$$

Quindi il semiasse maggiore a misura :

$$a = \frac{D + d}{2} = \frac{1}{\sin(h)}$$

e siccome il semiasse minore b è uguale al raggio unitario
ricaviamo la semidistanza focale c :

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \frac{1}{\tan(h)}$$

e l'eccentricità :

$$e = \frac{c}{a} = \cos(h)$$

Gli stessi risultati si potevano ottenere trovando prima il
secondo fuoco, proiettando lo zenit della sfera
parallelamente ai raggi solari (come descritto nel testo),
e poi l'asse maggiore. Con questi parametri possiamo
trovare l'equazione dell'ellisse, ma è conveniente usare
l'equazione polare delle coniche, che è riferita a un fuoco
come origine :

$$\rho = \frac{\frac{b^2}{a}}{1 + e \cdot \cos(t)}$$

Nell'argomento del coseno dobbiamo aggiungere al
parametro t un angolo di fase per il corretto orientamento
dell'ombra in funzione dell'azimut del Sole :

$$\rho_{\text{ellisse}} = \frac{\sin(h)}{1 + \cos(h) \cdot \cos(t - 90^\circ + Az)}$$

Le equazioni delle linee calendariali

Analogamente si ricava l'equazione polare delle iperboli
diurne. Indichiamo con D_+ e D_- le estensioni dell'ombra
a mezzogiorno vero alle declinazioni $\pm |\delta|$. Allora,
tenendo conto che :

$$D_{\pm} = \cot\left(\frac{90^\circ - \varphi \pm |\delta|}{2}\right)$$

la semidistanza fra i vertici dell'iperbole è :

$$a = \frac{D_- - D_+}{2}$$

e la semidistanza focale :

$$c = \frac{D_- + D_+}{2}$$

da cui si ricava anche l'altro parametro :

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{D_+ \cdot D_-}$$

e l'eccentricità :

$$e = \frac{c}{a} = \frac{D_- + D_+}{D_- - D_+}$$

Quindi l'equazione polare dell'iperbole è :

$$\rho_{\text{iperbole}} = \frac{\pm \frac{2 \cdot D_+ \cdot D_-}{D_- - D_+}}{1 \pm \frac{D_- + D_+}{D_- - D_+} \cdot \cos(t + 90^\circ)}$$

Il segno positivo determina il ramo più vicino all'origine
(il punto d'appoggio della sfera) e il segno negativo
quello più lontano. Anche qui si è inserito un angolo di
fase per il corretto orientamento dell'iperbole. Dopo
semplificazioni trigonometriche (usando le formule di
addizione e sottrazione e quelle di Werner) otteniamo :

$$\rho_{\text{iperbole}} = \frac{\frac{\sin \varphi + \cos \delta}{\sin(\delta)}}{1 + \frac{\cos \varphi}{\sin(\delta)} \cdot \cos(t + 90^\circ)}$$

Il ramo dell'iperbole è determinato dal segno di δ . Agli
equinozi $\delta = 0$ e l'iperbole degenera nella retta :

$$y = -\cot\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right)$$

Bibliografia

1. "Il Globo di Matelica" - Azzarita - Sito Internet
http://astrolink.mclink.it/uai/sez_gqs/art7.htm
2. "Il Globo di Matelica" - Baldini - Carusi
l'Astronomia N° 92
3. "La Sfera di Matelica" - Gunella - Gnomonica N° 4
4. "Il modello matematico dei punti orari sul Globo di
Matelica" - Nicelli - Gnomonica N° 4
5. "Les théorèmes belges" - Sito Internet
<http://bib1.ulb.ac.be/coursmath/belges.htm>
6. "Geometria intuitiva" - Hilbert - Cohn-Vossen
Boringhieri Editore
7. "Le meridiane delle Marche" - Cintio (a cura di)
Andrea Livi Editore, Fermo

GIOVANNI PALTRINIERI, VIA GIUSEPPE DOZZA N. 3 40139 BOLOGNA TEL 455403
PER "SEMINARIO GNOMONICO"

ORIENTAMENTI DELLE CHIESE ROMANICHE BOLOGNESI
GIOVANNI PALTRINIERI

ESTRATTO

Quale preambolo storico, si considerano i fondamentali aspetti dei tracciati etruschi e romani, riferiti agli impianti viari e alle costruzioni. Il cristianesimo ha fatto proprie alcune di queste regole, spesso legate al simbolismo solare che vede Gesù quale nuova Luce. In quest'ottica nel medioevo molte chiese vennero "giustamente orientate", cioè volte ad Oriente. Nella presente relazione vengono presi in considerazione gli orientamenti di un certo numero di chiese romaniche della città di Bologna e della sua periferia, dalla quale si traggono interessanti conclusioni.

Alcuni anni orsono il Prof. Giuliano Romano dell'Università di Padova ha effettuato una ricerca sull'orientamento delle chiese della propria città da cui sono emersi risultati particolarmente interessanti. Con gli stessi intenti ho voluto intraprendere una analoga esperienza nell'ambito delle chiese della città di Bologna e della sua immediata periferia. E' indubbiamente una verifica che andrebbe estesa ad altre città italiane, dalla quale certamente emergerebbero insospettiti allineamenti solari pregnanti di simbolismo ancora tutto da scoprire.

Se osserviamo la pianta di una qualsiasi città in cui sono ancora presenti testimonianze di chiese medievali, noteremo che nella maggior parte dei casi esse sono disposte all'incirca lungo l'asse Est-Ovest, ponendo l'abside verso Est. Ciò non è certo dovuto alla casualità, ma piuttosto ad una precisa volontà progettuale che segue una ben collaudata e doverosa regola avente origini alquanto remote. Se un certo adattamento al tessuto urbano circostante ha portato in qualche caso ad obbligati aggiustamenti di allineamento, ben più esplicito è tale intento quando si rinvencono allineamenti di questo tipo in chiese di campagna. Infatti, quando l'antico architetto incaricato di tracciare l'allineamento di base della futura chiesa non aveva alcun vincolo particolare, perché tra le infinite possibilità sceglieva quella di volgere l'abside in direzione Est?

Un'indagine in questo senso la possiamo fare per Bologna e la sua periferia. Un gran numero delle sue chiese ha l'abside

che guarda ad Est: la direzione del sorgere del Sole agli Equinozi.

La presente ricerca, ben lungi dall'essere esaustiva per la complessità e la mole di lavoro che richiederebbe, esamina un tema tanto singolare e sconosciuto quale gli orientamenti delle antiche chiese di Bologna. A tale scopo si è scelto un certo numero di chiese della città e della sua immediata periferia di sicura origine romanica (o almeno di romanica fondazione), e per esse si è effettuata la verifica dell'orientamento. Ne risulta un quadro complessivo particolarmente interessante ed assolutamente nuovo nell'ampio tema dell'architettura antica cristiana.

Nello scenario di un mondo tanto antico da non lasciare traccia di costruzioni realizzate dall'uomo, il panorama doveva certamente sembrare ben più vasto e misterioso di quanto non ci appaia oggi. L'orizzonte si perdeva lontano su un terreno irto di insidie di ogni genere; sopra di esso, la calotta celeste era popolata di giorno e di notte da corpi luminosi che si muovevano secondo ritmi irregolari e sconosciuti. In conseguenza di un'attenta e millenaria osservazione di quei molteplici ritmi che si ripetevano con cicliche cadenze, soprattutto il Sole e la Luna, l'uomo imparò tra l'altro ad orientarsi. Egli definì quindi i Punti Cardinali, ovvero le quattro direzioni del mondo. Inoltre, studiò la mutevole posizione lungo l'orizzonte del sorgere del Sole, deducendone gli approssimati periodi stagionali. Un bel giorno l'uomo si trasformò da pastore in agricoltore, in grado quindi di provvedere alla

propria alimentazione grazie al lavoro dei campi oltre che della caccagione reperita nel territorio circostante. Si trattava di un nuovo modo di vivere, ben più attaccato al suolo di quanto non fosse in precedenza: la terra doveva essere difesa perché patrimonio dell'intera comunità, salvaguardata quindi da possibili assalti esterni. Nacque così il bisogno di realizzare una comunità con solidi edifici, solide basi, e solide difese: un'area cinta da barriera che passò nella maggioranza dei casi da semplice palizzata in legno a solida muraglia in mattoni.

Fondare un centro urbano, seppur di modeste dimensioni, era cosa particolarmente delicata e richiedeva la massima cura possibile: si dovevano rispettare due precisi e fondamentali indirizzi, quello urbanistico a cui provvedeva un agrimensore, e quello religioso a cui attendeva un sacerdote incaricato di armonizzare il costruendo nucleo urbano con le divinità celesti. Con tali presupposti alla città era garantito un lungo e prospero avvenire.

Ottimo esempio di antico impianto costruito secondo precise regole urbanistiche è la città etrusca di Misa presso Marzabotto, a pochi chilometri da Bologna. La città è divisa in riquadri ortogonali attraversati al centro da una larga strada disposta secondo l'asse Nord-Sud a cui i romani davano il nome di "Cardo" (I "cardini", corrispondono ai perni su cui ruota una porta o una finestra, e costituiscono perciò nella planimetria derivante dall'osservazione astronomica, l'asse del sistema). Il "Cardo", risultando orientato parallelamente all'asse terrestre, assume dunque la funzione di "cardine del mondo", attorno al quale ruota l'intera volta celeste. (Allo stesso modo, nell'ottica cristiana i "Cardinali" rappresentano la massima dignità della chiesa Cattolica dopo il Papa: sono dunque i Cardini di questa religione). Ebbene, in questa città etrusca ancora intatta nella sua rete viaria e per nulla deformata da interventi successivi, l'errore che si manifesta nell'allineamento del Cardo Massimo è soltanto di $2^{\circ} 31'$.

La più antica e completa memoria che ci è pervenuta sulle regole di costruzione di una città la dobbiamo a Marco Vitruvio Pollione, architetto vissuto nel I sec. d.C., al tempo di Cesare e di Augusto. L'opera, divisa in dieci libri, è intolata *DE ARCHITECTURA*: essa ha costituito per quasi quindici secoli il maggior trattato sulle costruzioni. (1) E' una miniera di notizie estremamente interessanti e curiose, in cui si evidenzia la grande competenza dal suo autore che si preoccupa di fornirci un esauriente quadro dell'attività e degli accorgimenti edilizi del suo tempo. Nel preambolo Vitruvio dichiara che:

"Le parti dell'Architettura sono tre, Edificatione, Gnomonica, & Machinatione. La Edificatione è divisa in due parti: una è la collocazione delle mura, & delle opere comuni, né luoghi pubblici, l'altra è la esplicatione de' privati edificij." (Vitruv. Lib. I, pag. 40)

L'Autore insegna poi a tracciare sul terreno i Punti Cardinali per mezzo dell'ombra prodotta al suolo da uno Gnomone, o asta:

"Posto sia nel mezzo della città un piano quadro a livello, ovvero sia ispianato il luogo, & pareggiato in modo, che'l detto quadro non si desideri, pongasi poi nel mezzo centro di esso lo stile di rame (un'asta), che indice, & dimostratore dell'ombra si chiama. & sopra'l detto quadro, o piano segnisi l'ombra estrema fatta dallo stile quasi l'ora quinta avanti il meriggio: & facciasi il segno con un punto, dappoi rallargata la sesta (compasso) al punto, che è segno della lunghezza dell'ombra, & fermata nel centro facciasi il giro finito. Dappoi sia osservato dopo'l mezzo di l'ombra crescente cagionata dallo stile: & quando quella Haverà toccato il giro già fatto, & haverà pareggiato all'ombra fatta dinanzi al mezzo di, l'ombra fatta dappoi, in quel tocco bisogna fare un punto. Da questi due punti con la sesta (compasso) farai lo incrociamento, & per tale incrociamento, & per lo centro di mezzo si deve tirare una linea, che tocchi le estremità del giro, accioche si habbia la regione meridiana, & la Settentrionale. Fatto questo bisogna pigliare la sestadecima parte di tutto

il giro, e poner il centro nella linea meridiana, la dove tocca la circonferenza, & si deve segnare dalla destra e dalla sinistra nella detta circonferenza, & dalla parte del mezo di e dalla parte di Tramontana: dapoi da questi quattro segni per mezo del centro si devono tirare in croce le linee, che con le loro estremità tocchino la circonferenza, & con questo modo egli si haverà il disegno dell'ottava parte dell'Ostro, & del Settentrione." (Vitruv., Lib. I, pag. 58).

Si tratta, come certamente si sarà capito, del metodo delle "uguali altezze solari". Realizzato un piano orizzontale si fissa perpendicolarmente e in maniera solida un'asta. A metà mattina si marca sul terreno il punto proiettivo estremo dell'ombra di quell'improvvisato Gnomone. Si lega quindi una funicella alla base dell'asta, descrivendo una porzione di cerchio passante per il punto appena definito. (Si consideri che il Sole nel corso del giorno non descrive mai al suolo un cerchio, ma una iperbole più o meno accentuata sino a formare agli Equinozi una retta; di conseguenza l'ombra non arrivando mai a descrivere un cerchio, non segue mai il percorso tracciato con la funicella. A metà pomeriggio si osserverà in un certo momento che il punto estremo dell'ombra va ad intersecare il cerchio descritto al mattino. Si segna questo nuovo punto; si divide a metà la distanza che intercorre tra quest'ultimo e quello marcato al mattino, e da lì si realizza una retta che passa per la base dello Gnomone. Detta retta viene a trovarsi sul perfetto asse NORD-SUD, mentre perpendicolarmente alla congiunzione dei due punti si avrà l'allineamento EST-OVEST. L'operazione è semplice, sicura, e facilmente attuabile anche dal meno esperto degli operatori.

La procedura testé riportata è utile per sottolineare la precisa conoscenza antica dei metodi solari nella determinazione delle direzioni fondamentali geografiche, cioè i Quattro Punti Cardinali: la bussola è cosa assai recente, in quanto la sua comparsa è testimoniata in Europa soltanto verso il tredicesimo secolo.

Se dunque in periodo etrusco e romano queste regole erano note, non sempre troviamo città perfettamente allineate con i Punti Cardinali. Da tecnici pratici quali erano i romani, si preoccupavano nei loro interventi di realizzare essenzialmente percorsi razionali ed economici. E' noto ad esempio che Bononia, fondata nel 189 a.C., ha il Cardo e il Decumano che divergono notevolmente dagli assi geografici. La città presenta una maglia stradale tipica di una colonia latina, il cui l'orientamento è conseguente ai rilievi collinari e al percorso del torrente Aposa che l'attraversa; ne deriva una funzionalissima rete fognaria che porta i detriti a valle senza richiedere alcun particolare intervento manutentivo. Di due anni successivi è la Via Emilia, iniziata nel 187 a.C. da Marco Emilio Lepido per congiungere Piacenza con Rimini. Esaminando con attenzione una carta geografica locale, si osserva che i fossati e i sentieri circostanti la via romana sono in larga misura ad essa paralleli e perpendicolari, tali da formare in molti casi tanti quadretti di terreno di quasi 51 ettari ciascuno. Si tratta della *Centuria*, appezzamenti di terreno distribuiti in premio ai veterani romani per la loro trascorsa dedizione militare, rappresentante al tempo stesso un formidabile mezzo di colonizzazione e bonifica delle terre incolte.

E' dunque importante sottolineare che la Via Emilia ha costituito in periodo romano l'asse di riferimento ai confini tra le proprietà che a lato di essa andavano a crearsi. Col passare dei secoli le vecchie case lasciarono il posto alle nuove; si ebbero distruzioni, ricostruzioni, ma la collocazione di base si mantenne quasi del tutto inalterata ed è ancora in larga misura quella attuale.

Se l'impianto stradale – specie romano – poteva anche assumere un andamento subordinato a fattori di praticità, la disposizione di un edificio di culto richiedeva spesso un'attenzione tutta particolare in quanto entravano in gioco motivazioni di carattere solare, simbologiche, spesso derivanti da misteriosi rituali praticati dai sacerdoti etruschi. Un esame dettagliato sull'allineamento degli edifici di culto pagani

richiederebbe una trattazione specifica ben circostanziata e non sempre sicura: limitiamo la nostra indagine agli allineamenti delle chiese cristiane realizzate a Bologna o nelle sue immediate vicinanze, per quanto riguarda i fabbricati non posteriori al 14° secolo.

Per secoli le regole architettoniche codificate da Vitruvio nel suo "De Architectura" vengono tramandate per via orale, tanto da costituire un patrimonio riservato ad una cerchia privata, una élite, in cui si trasmettono da una generazione all'altra i segreti della costruzione. Per realizzazioni di modeste dimensioni è sufficiente una piccola squadra di operai comandata da un capomastro a cui sono note le principali regole dell'edificare. Per costruire le grandi cattedrali si formano invece corporazioni, o logge massoniche (dal francese "maçon"=muratore); depositarie e attente custodi dei segreti sui procedimenti e regole di costruzione. Il tutto viene gelosamente segretato all'interno della Loggia, e sono comminate pene severissime a chi divulga i metodi dell'edificazione. Soltanto alla fine del '400 con l'avvento della stampa il testo di Vitruvio è quindi fruibile ad un più vasto pubblico: ma ormai il tempo delle grandi cattedrali sta per concludersi.

L'avvento del cristianesimo e la conseguente realizzazione di chiese e luoghi di culto apre un capitolo del tutto nuovo nell'architettura dei primi secoli della nostra era. Già nell'Antico Testamento, nel primo libro dei Re (2) troviamo precise indicazioni dimensionali sulla forma del Tempio realizzato a Gerusalemme da Salomone. Il tempio cristiano quasi dal suo nascere si preoccupa di sottolineare alcuni simbolismi più o meno palesi, con regole che costituiscono una didattica tutta propria capace di delineare un preciso tracciato progettuale.

Molte rappresentazioni paleocristiane realizzate su affresco o su mosaico raffigurano il *Cristo Pantocratore*: l'Onnipotente Creatore in atto di rilevare con un grande compasso la dimensione dei cieli e della terra. In quest'ottica, il limitato

architetto umano nel realizzare un tempio a Dio è ben conscio dell'importanza e della sacralità del suo intervento. Si tratta infatti di tradurre, con i limitati mezzi espressivi *l'infinito nel finito*, inserendo nel progetto una serie di componenti che sono d'obbligo in questa primitiva fase, certamente provenienti da culture medio-orientali più antiche, opportunamente adattate. I principali componenti di questa sapiente elaborazione possono sintetizzarsi nei seguenti punti.

a)- **L'Orientamento.** "Orientare", significa: "disporre ad Oriente". Una chiesa giustamente "orientata", per definizione è quella che si dispone secondo l'asse Est-Ovest: il portale d'ingresso è volto ad Ovest, mentre l'abside guarda ad Est. Tale motivazione è essenzialmente collegata al moto apparente solare: si entra nella chiesa dal lato del tramonto del Sole o di minore luminosità, per incamminarsi, percorrendo la navata centrale, verso la Luce, cioè il sorgere. E' il cammino trionfale del mondo profano che si indirizza verso la salvezza. Se poi davanti alla facciata viene posto il battistero, ecco che si amplifica il percorso della conversione, che parte dalla morte per incamminarsi verso la vera vita. Molti Padri della Chiesa, tra cui Sant'Agostino, raccomandano di pregare volgendosi ad Oriente: luogo in cui sorge il Sole. Sin dal nascere della cristianità la venuta di Cristo è paragonata al Sole che sorge radioso per illuminare un mondo avvolto dalle tenebre. Si tenga presente che la Morte e Resurrezione di Cristo cadono in un tempo molto prossimo all'Equinozio Primaverile, e il Sole in quell'epoca sorge esattamente ad Est. In tale situazione, il celebrante e l'assemblea nella prima messa del mattino di quei tempi antichi avevano modo di assistere al prodigioso illuminarsi dei vetri opachi dell'abside, accentuando così la tematica della Luce di Cristo. Tutto lo spazio della chiesa volge dunque verso Est, l'ideale Gerusalemme celeste; alla fine dei tempi questo diaframma cadrà, e da qui entrerà il Cristo.

b)- **Il Corpo di Cristo.** L'architetto realizza il tempio nella consapevolezza che la Vera

Chiesa è il Cristo stesso. La chiesa fisica, parallelo simbolico con il corpo di Cristo, coincide appunto con la figura umana di Gesù: il semicerchio dell'abside corrisponde alla testa; il portale d'ingresso ai piedi; il transetto alle membra distese. Il tutto genera i Punti Cardinali a significare che la presenza di Cristo giunge sino ai quattro angoli del mondo. Un'antichissima tradizione sottolinea come il nome ADAM (Cristo= il nuovo Adamo), rappresenti in greco le iniziali dei Quattro Punti Cardinali: A= ANATOLE' (Oriente); D= DYSME (Occidente); A= ARCTOS (Settentrione); M= MESEMBRIA (Meridione). Inoltre, le prime due iniziali formano l'asse Est-Ovest, mentre le restanti l'asse Nord-Sud (3). L'ideale figura umana rappresentata dalla pianta della chiesa si compone poi di due parti distinte e indivisibili: La testa, quale vera presenza di Cristo che si manifesta nella specie eucaristica custodita nel tabernacolo, e il resto del corpo costituito dall'assemblea. All'interno di un tempio materiale si ha dunque un tempio spirituale, rappresentato dai fedeli che costituiscono il Corpo Mistico di Cristo. A sua volta, ogni singolo fedele, è al tempo stesso tempio di Cristo.

c)- **Le due dimensioni.** La chiesa antica si sviluppa secondo disegno e rapporti ben preordinati: tutto è considerato, nulla è lasciato al caso. L'idea di una generale imprecisione realizzativa di molte chiese romaniche non deve trarre in inganno: il più delle volte non disponiamo di una precisa chiave di lettura atta a giustificare singolari interventi. Le irregolarità costruttive e l'asimmetria spesso rilevate non dipendono spesso da una cattiva realizzazione, ma piuttosto da una precisa volontà di non costruire cose perfette, le quali spettano per competenza al Creatore. La chiesa fisica, nella sua volumetria di contenuti ha due dimensioni. La **dimensione orizzontale** fruibile dai fedeli, che procedendo da Ovest ad Est si portano alla luce del tabernacolo. Lungo il loro cammino li accompagna raffigurazioni dell'Antico Testamento; nella base cubica che sostiene la cupola sono dipinte figure del Nuovo Testamento, dei

santi e dei martiri. La **dimensione verticale** si evidenzia nella cupola sovrastata dal lucernaio o nel catino absidale su cui è dipinto il Cristo Pantocrator circondato dagli angeli. Anche le figure geometriche trovano in questo punto una loro precisa funzione di espressività: la base cubica rappresenta la Terra con i suoi lati in linea con i Punti Cardinali; la sfericità superiore assume una dimensione celeste in cui non c'è né inizio, né fine, né orientamento. La chiesa cruciforme non è comunque la sola ed immutabile espressione architettonica del tempio. A volte, anche se con più rara frequenza, essa assume una particolare forma per lanciare un preciso messaggio. E' il caso delle "Rotonde", che solitamente ricordano il Santo Sepolcro, ma ve ne sono pure esagonali, ottagonali, ecc. E' doveroso comunque ricordare che nel medioevo non tutti gli architetti si attenero rigidamente alle regole appena viste, anzi, dobbiamo registrare infinite espressioni sul tema.

Si è detto che tendenzialmente l'asse maggiore della chiesa coincide con i Punti Geografici Est-Ovest. In tal caso il muro che si trova sul lato destro della navata risulta esposto a Mezzogiorno, consentendo dunque di realizzare con facilità sulla sua parete esterna un Orologio Solare grazie ad alcune semplicissime regole di tracciatura. Il metodo di delineare un Quadrante Solare su un muro esposto a Sud di una chiesa o di un convento è certamente stato tramandato oralmente per dei secoli: bastava una funicella per tracciare un semicerchio, e con la medesima lo si divideva in alcune parti in considerazione dei momenti quotidiani di preghiera stabiliti dalla Regola di quella comunità. Non era richiesta una particolare precisione oraria, ma piuttosto un semplice segnacolo di riferimento. E' ipotizzabile (anche se non ci sono pervenute memorie in merito), che il monaco usasse per la tracciatura il cordone che gli cingeva la vita, forse utilizzando come unità modulare il passo tra i nodi ivi presenti.

Dalla regola ideale all'effettiva realizzazione non si riscontra sempre una perfetta coincidenza. Le chiese romaniche ben di rado risultano perfettamente "orientate". A volte la deviazione è motivata dalla presenza

di un tracciato stradale attiguo preesistente alla costruenda chiesa, a cui l'architetto deve adeguarsi. In altre occasioni la motivazione può avere un preciso scopo devozionale, quello cioè di allineare la chiesa in direzione del sorgere del Sole per il giorno in cui si festeggia il suo Patrono. In tal caso si può ipotizzare che tale allineamento sia stato tracciato effettivamente in quel giorno osservando direttamente il punto sull'orizzonte in cui sorgeva allora l'astro. Una ulteriore possibilità deviante dal giusto orientamento può derivare da un orizzonte locale più elevato di quello teorico, che ha modificato sensibilmente il valore di azimut.

La seguente figura mostra in pianta l'aspetto dell'orizzonte in cui si aprono sia verso destra, sia verso sinistra, gli angoli delle Albe e dei Tramonti intorno al 20-23 di ogni mese. I settori più o meno ampi tracciati sottolineano visivamente le diverse ampiezze del giorno nel corso dell'anno, e di conseguenza i diversi punti in cui sorge il Sole a Bologna. I valori sono approssimati al mezzo grado; una maggior precisione sarebbe, almeno per la ricerca attuale, del tutto superflua.

In ultima analisi si formano lungo l'orizzonte due opposti e simmetrici coni angolari: quello destro dell'ALBA, e quello di sinistra del TRAMONTO. Ovviamente gli angoli riportati si riferiscono ad un orizzonte sgombro e privo d'ostacoli, quale potremmo trovare ponendoci su una collina. Se invece l'osservazione si fa in pianura, inevitabilmente si avrà una diminuzione più o meno accentuata dei valori azimutali qui indicati. Un'ultima osservazione: le date coincidenti agli azimut indicate in figura appartengono agli anni correnti. Andando a

ritroso nella storia l'angolo subisce un leggero mutamento che per la presente trattazione è quasi del tutto ininfluenza. Lo sfasamento calendariale è invece più sensibile: verso la metà del 1200, ad esempio, per gli stessi azimut indicati in figura corrispondono date di 7 giorni minori: 13 Marzo= Equinozio Primavera; 14 Giugno= Solstizio Estivo; 16 Settembre= Equinozio Autunnale; 14 Dicembre= Solstizio Invernale.

Passiamo ora ad esaminare una serie di chiese bolognesi sicuramente risalenti per fondazione ad un periodo non posteriore al 14° secolo. Ovviamente la ricerca si potrebbe estendere all'intero territorio bolognese, e di conseguenza questo elenco si potrebbe ampliare notevolmente. **L'orientamento qui rilevato considera che l'osservatore sia posto al centro della facciata, e guardi in direzione del centro dell'abside.** Il valore azimutale indicato è **"Zero Gradi in dirittura di Sud"**, aprendosi simmetricamente sui due lati in senso Est ed Ovest. Se ad esempio è indicato un orientamento di 90°, significa che l'abside si volge esattamente ad Est. Detti valori sono stati calcolati con metodo gnomonico e geodetico direttamente sul posto, prendendo per riferimento la migliore porzione possibile del muro longitudinale esterno della chiesa. L'errore che ne deriva è orientativamente più o meno un grado: sono valori ottimamente accettabili tenendo conto delle difficoltà di operare spesso su un muro imperfetto, sempre ipotizzando che esso non differisca per aggiustamenti successivi dal primitivo impianto. I valori azimutali (cioè di direzione) riportati per ciascuna chiesa, se rapportati con il Grafico Azimutale appena visto, ci consentiranno di farci una chiara idea sull'andamento delle chiese qui considerate.

NOME DELLA CHIESA	LOCALIZZAZIONE	ORIENTAMENTO
1. S. GIULIANO	Porta S. Stefano	45° EST
2. S. GIOVANNI EV. IN MONTE		50° EST
3. S. GIACOMO	Croce del Biacco	61° EST
4. SANTA MARIA DEI SERVI	Strada Maggiore	62° EST
5. SANTO STEFANO	Chiesa del Crocefisso	62° EST
6. MADONNA ASSUNTA	Borgo Panigale	64° EST

7. S. GREGORIO	via Albertoni	65° EST
8. SAN MARTINO	via Oberdan	66° EST
9. SS. ANNUNZIATA	Porta S. Mamolo	66° EST
10. S. ANTONIO AB. DI SAVENA	via Massarenti	70° EST
11. CRIPTA SS. NABORRE E FELICE	via dell'Abbadia n. 1	70° EST
12. SAN BENEDETTO AB	via Galliera (ORA RIV. di 180°)	71° EST
13. SAN FRANCESCO	Piazza S. Francesco	73° EST
14. SAN GIUSEPPE	dei Cappuccini	74° EST
15. S. GIROLAMO	della Certosa	77° EST
16. SAN PIETRO; Cattedrale	via dell'Indipendenza	78° EST
17. SAN DOMENICO	Piazza S. Domenico	78° EST
18. SAN SALVATORE	via Cesare Battisti	79° EST
19. B.V. ASSUNTA DI CASAGLIA	via Casaglia	80° EST
20. S. MARIA ANNUNZIATA	Fossolo	81° EST
21. S. MARIA DELLA MISERICORDIA	Porta Castiglione	81° EST
22. SAN PROCOLO	via D'Azeglio	83° EST
23. S. MARTINO	di Casalecchio	84° EST
24. MADONNA DI SAN LUCA	Colle della Guardia	91° EST
25. S. EGIDIO	Porta Zamboni (ORA RIV. DI 180°)	95° EST
26. MADONNA DI MONTOVOLO		95° EST
27. S. VITTORE	Fuori Pt.a Castiglione	104° EST
28. S. GIACOMO MAGGIORE	Via Zamboni	118° EST

Si tenga inoltre presente, a scopo conoscitivo, che la Via Emilia Levante, nel tratto compreso tra Porta Maggiore e San Lazzaro è di circa 66° EST; il tratto via Saffi- Emilia Ponente è di circa 62° EST.

Nell'elenco delle chiese qui riportate si evidenzia una notevole varietà di orientamenti che richiederebbe un approfondimento ben maggiore per ciascun edificio trattato. Si evidenzia comunque una netta preferenza per l'orientamento Est, che possiamo ritenere superiore al 75 % rispetto alla globalità delle chiese esistenti in città e nella sua periferia: le restanti chiese presentano infatti degli orientamenti assolutamente casuali, giustificati certamente da obbligate situazioni viarie. Tra gli allineamenti assolutamente "non orientati", è il caso di ricordare la Basilica di San Petronio: la sua tarda costruzione avvenne quando gli edifici circostanti erano già da qualche secolo realizzati, e quindi si imponeva un preciso ed obbligato impianto che non ammetteva compromessi.

Obbligati impianti che seguono la rete viaria ve ne sono certamente molti anche nell'elenco qui riportato, come ad esempio S.

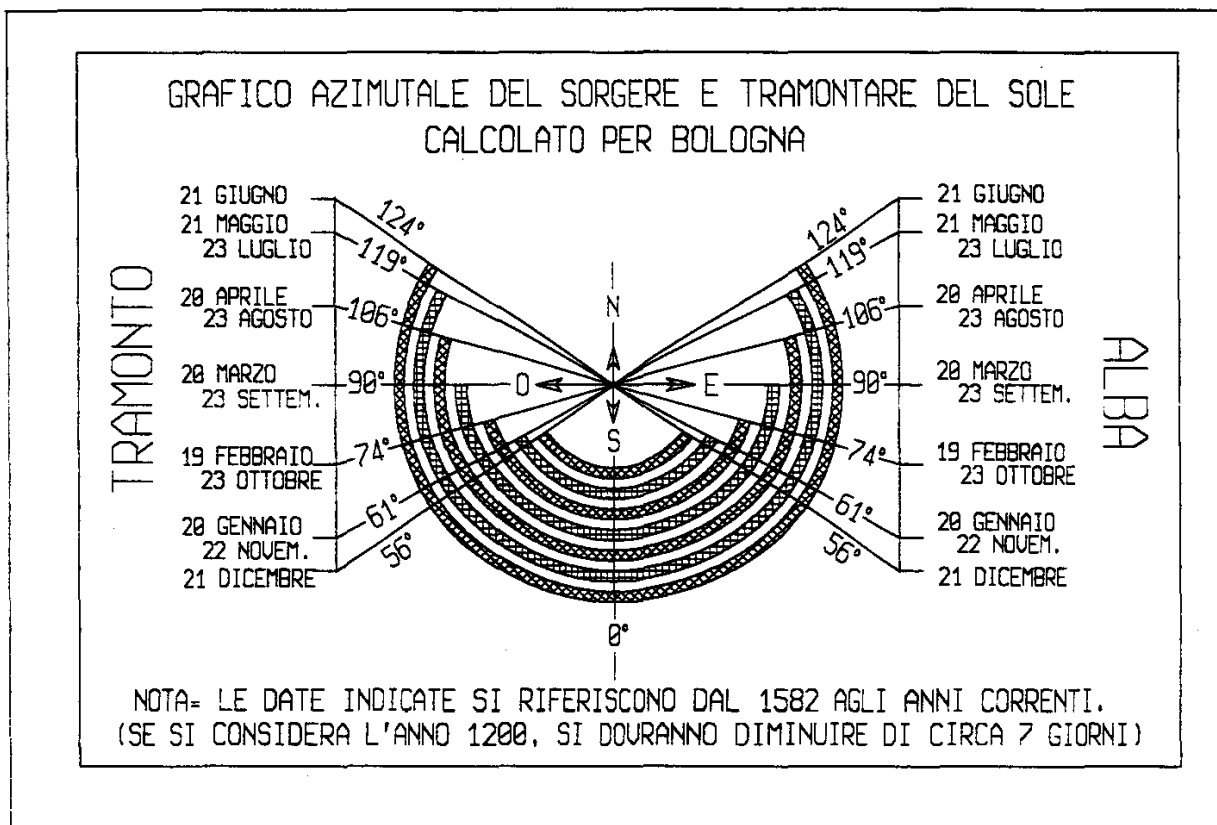
MARIA DEI SERVI, S. GIACOMO IL MAGGIORE, S. GIULIANO, ecc. In questi casi, è comunque significativo il fatto che dovendo scegliere tra due diverse possibili situazioni, verso Est oppure verso Ovest, si sia optato per quella in cui l'abside si volgeva all'incirca in direzione Est.

Sempre in elenco vi sono due chiese che hanno la nota: "Rivoltata di 180°". Entrambe furono infatti costruite con andamento opposto all'attuale: motivi di praticità e comodità successivi ne hanno poi capovolto il senso e l'utilizzo.

Nel presente elenco si è anche verificato se vi siano rispondenze tra l'orientamento di una chiesa e l'azimut assunto dal Sole per il giorno della festa patronale: non si è riscontrato alcun collegamento significativo degno di rilievo, ma questo aspetto andrebbe approfondito per ogni chiesa, verificando attentamente che l'attuale Patrono sia poi lo stesso a cui l'edificio venne inizialmente dedicato. Dall'elenco evidenzia comunque un fatto singolare: se si escludono le voci 1) e 2), le restanti chiese rientrano nel cono delle possibili Albe comprese tra i gradi 56 e 124.

Certamente una più ampia indagine di orientamenti di chiese localizzate in aperta campagna o in collina potrebbe dar luogo ad imprevedibili e interessanti sorprese. Ci basti per ora aver delineato un percorso di ricerca

del tutto nuovo nel campo dell'architettura cristiana primitiva: un mondo che è ancora in larga misura tutto da scoprire.



NOTE

(1) I brani dell'opera di Vitruvio qui riportati sono ricavati dal testo: I DIECI LIBRI DELL'ARCHITETTURA DI M. VITRUVVIO, TRADOTTI ET COMMENTATI DA MONSIG. DANIEL BARBARO ELETTO PATRIARCA D'AQUILEIA, DA LUI RIVEDUTI & AMPLIATI; & ORA IN PIU' COMMODA FORMA RIDOTTI. In Venetia, Appresso Francesco de' Franceschi Senese MDLXXXIII.

(2) I RE 6,1 – 6,38

(3) Hani Jean, Il simbolismo del tempio cristiano, Roma, Arkeios, 1996, p.60

ESTRATTI

La gnomonica avrà sempre più la necessità di comunicare in un linguaggio compreso anche dai più piccoli. E' il senso di questo progetto che affronta la gnomonica e l'astronomia anche attraverso giochi, esperimenti e simulazioni per scoprire il trascorrere del tempo. Il video che sarà proiettato a supporto di questa relazione evidenzia gli ottimi risultati ottenuti con tutti i bambini delle Elementari (anche quelli della prima classe!) di Pragelato. Un paese in provincia di Torino, in cui esistono molti orologi solari (anche di Zarbula), che ha deciso di riscoprire i Q.S.

Per i nostri antenati le ombre sono state storie d'anime, rituali, fantasmi, grandi rispetti e grandi paure. Anche i bambini sono attirati dalle ombre, sia quelle che nascono naturalmente sia quelle che si producono con artifici. Essi sono incuriositi dalle cose sottili: quelle che si toccano e non si toccano, che lambiscono il reale e l'irreale, che hanno il senso del mistero e concedono ampi margini interpretativi.

GLI INCONTRI, I LABORATORI E I PROGETTI DIDATTICI

Da questa premessa sono stati impostati degli incontri, dei laboratori e dei progetti esclusivi dedicati alla scoperta delle meridiane, della Terra del Sole e dei planeti (ma anche di altri argomenti legati al TEMPO)

In base alle singole esigenze didattiche affiancheremo gli insegnanti del I° e II° ciclo delle Elementari e i docenti ragazzi delle Scuole Medie per mettere a punto i percorsi didattici "calibrandoli" alle reali necessità. Successivamente, all'aperto o in aula, svilupperemo la conoscenza di base dell'astronomia, del Sistema Solare, degli orientamenti e della misurazione del tempo. Per i più piccoli le esperienze saranno soprattutto costituite da giochi utilizzando, ad esempio, la propria ombra per controllare, sul suolo, il lento ma inesorabile trascorrere del tempo, ma anche per "misurare" l'ora del giorno con questo inconsueto orologio solare umano.

Per millenni, la misurazione del tempo si è identificata sostanzialmente con l'osservare come, in presenza del Sole, l'ombra si spostava sul suolo o su una parete, riproducendo la proiezione dell'ideale cammino solare: negli incontri e nei laboratori didattici rivivremo quei "momenti magici" con i bambini giocando con i mille colori della luce e le ombre ma anche con lo scorrere della sabbia e dell'acqua.

Con l'ausilio di proiezioni di video e diapositive, CD Rom, modelli (costruiti e da costruire) eseguiamo giochi, simulazioni ed esperimenti per scoprire l'affascinante mondo dell'astronomia, delle meridiane e della misurazione naturale del tempo (clessidre, calendari, orologi ad incenso, ecc.).

Inizialmente emergeranno le relazioni tra gli oggetti e le ombre (collegate alla direzione dei raggi del Sole) e, solo successivamente, si introdurrà un sistema "elementare di misure".

Sappiamo anche che i ragazzi possono apprezzare lo scorrere dell'ombra solo se prima "incamerano" i movimenti apparenti del Sole nel cielo.

Successivamente esamineremo i planeti del sistema solare e le loro principali caratteristiche realizzando dei modelli per l'immediata percezione delle dimensioni e

Il fascino delle ombre è quello di un mondo intermedio tra la luce e il buio che piace anche per i suoi paradossi: "c'è e non la stringi", "ha una forma ma ne ha altre cento", "pare ubbidirti e poi fa per conto suo" ma è anche "una cosa che il sole fa nascere il mattino e morire di sera".

delle distanze. E la conoscenza dei movimenti del Sole, dei Planeti e della Luna ci permetterà di inoltrarci in un percorso fatto di calendari, di stagioni, di mesi e di vari tipi d'ore.

Ore segnate, come una lancetta, dalle ombre che scorreranno su delle meridiane portatili o nelle clessidre costruite completamente dai ragazzi (in alcuni casi con l'assistenza dei docenti). Le meridiane portatili saranno poi completate da ogni ragazzo, anche dai più piccoli, con una serie di tacche che indicano i vari momenti della giornata e personalizzati con frasi o disegni di fantasia.

L'Astronomia -e in particolare il cielo con tutti i suoi eventi- sarà quindi il punto di partenza dei laboratori didattici con un coinvolgimento totale dei ragazzi per affinarne le capacità percettive ma anche per fare nuove conoscenze tra cui:

- imparare a guardare e ad ascoltare;
 - fare esperienza in uno spazio "sferico"
 - scoprire un tempo silenzioso composto dal dì e dalla notte, dalle stagioni e da tutti i segnatempo naturali.
- Contrariamente a quello che si può pensare per realizzare questi orologi solari, ad acqua e a fuoco (ma anche clessidre, astrolabi, notturlabi) non occorre una gran manualità e competenza: i modelli degli strumenti sono semplificati il più possibile ed alcuni di questi sono stati realizzati dai bimbi della prima elementare!

Ogni fase è stata elaborata tenendo ben presente la comprensibilità e comunicabilità nelle tempistiche stabilite in funzione dell'impegno didattico (dai semplici incontri, ai laboratori, ai progetti più elaborati). Sarà comunque una ricerca educativa - aperta ad ogni contributo - che ha il suo perno nella scuola, ma che verifica la sua validità anche all'esterno. E' anche per questo che possono essere effettuate visite guidate alle meridiane del territorio in cui ci si potrà avvalere della telecamera e della macchina fotografica per ottenere documenti, impressioni ed interviste con risultati decisamente sorprendenti.

Il nostro affiancamento prevede anche l'apporto di apposita documentazione: schede didattiche, video e CD Rom. Inoltre, durante le varie fasi del progetto-laboratorio, potranno essere realizzate delle foto e

dei video che resteranno all'Istituzione scolastica a testimonianza dell'esperienza (da proiettarsi o esporre, ad esempio, in occasione di una mostra alla fine dell'anno scolastico).

UNA INTERESSANTE REALIZZAZIONE

Un esempio di personalizzazione dei progetti in base alle necessità dei docenti può essere quello sviluppato nell'anno scolastico 1999-2000 a Pragelato (TO). Qui sono stati coinvolti, con ottimi risultati, i bambini delle Scuole Elementari (dalla terza alla quinta ma, in molti casi, anche quelli di prima elementare).

Quest'iniziativa, sviluppata e pianificata con le Insegnanti, è stata subito appoggiata dalle Istituzioni Didattiche e dalla locale Fondazione "G. Guiot Bourg" ed approvata dalla Regione, dalla Comunità Montana, dall'Amministrazione Comunale.

Riteniamo anche che le dimostrazioni di estrema attenzione prestataci dai ragazzi (testimoniate, tra l'altro, dal fascicolo conclusivo e dalle riprese foto e video) ed il sorprendente materiale scaturito dalle ricerche saranno di stimolo per continuare, negli anni successivi, questo progetto finalizzato soprattutto alla conoscenza e alla divulgazione dei numerosi ed invidiabili strumenti solari presenti sul territorio. In questo modo, unitamente al costituendo museo della Meridiana, cui abbiamo contribuito già nella fase progettuale, PRAGELATO si caratterizzerà come

"città delle meridiane" alle Olimpiadi Invernali del 2006.

E' anche attraverso queste esperienze che pensiamo di poter cogliere ed elaborare le migliori opportunità per realizzare, insieme ai docenti, un progetto-laboratorio personalizzato in base alle loro reali necessità che terrà conto della grande valenza educativa degli argomenti trattati (espressa ancora recentemente dal protocollo di collaborazione firmato il 24/1/2000 al Ministero della Pubblica Istruzione) e la diversificazione, l'efficacia e l'efficienza del servizio scolastico espressamente prevista dall'art. 21 della legge n° 59 del 15/3/97 (legge Bassanini).

Riteniamo quindi di poter proporre un progetto esclusivo e di sicura efficacia che:

- COINVOLGERA' PROGRESSIVAMENTE LA CAPACITA' D'ARGOMENTAZIONE E DI RAGIONAMENTO DEI RAGAZZI
- PORRA' LE BASI DI UN APPROCCIO SCIENTIFICO ALL'ASTRONOMIA E ALL'AFFASCINANTE TEMATICA DEL TEMPO, PARTICOLARMENTE ATTUALE IN OCCASIONE DEL NUOVO MILLENNIO.

Schema del progetto-laboratorio I RAGAZZI DI PRAGELATO CATTURANO LE OMBRE realizzato nell'anno scolastico 1999-2000 con i ragazzi dalla Terza alla Quinta Elementare

Comprendere il funzionamento degli orologi solari, anche nelle loro forme più semplici, significa comprendere i più importanti concetti di geografia astronomica, a partire dall'apparente movimento giornaliero del Sole nel cielo, considerando successivamente le posizioni reciproche del Sole e della Terra al momento dei solstizi e degli equinozi e il conseguente ciclo stagionale. E' per questo che l'approccio, a livello didattico, è stato di tipo interdisciplinare, ed ha considerato i diversi aspetti legati agli orologi solari.

Siamo partiti dalla considerazione che i quadranti solari sono gli strumenti di misura tuttora utilizzati che vantano millenni di storia, chiedendoci poi perché e per quali ragioni si è reso necessario, nei diversi periodi storici, misurare il tempo in vari modi ma con sempre maggior precisione. Tutto il lavoro è stato svolto in un'ottica d'estremo collegamento con la natura e l'ambiente che ci circondava tenendo ben presente che non c'è nulla di casuale in quello che ci hanno lasciato i nostri predecessori.

Per una maggiore comprensione delle esperienze didattiche e dei laboratori sono state realizzate delle apposite schede che prevedevano le motivazioni scientifiche e il procedimento didattico che, con il supporto d'immagini, video, modelli, sperimentazioni e di "giochi scientifici" si è sviluppato come segue:

- IL SISTEMA SOLARE
- I RAPPORTI TRA I PIANETI E LE DISTANZE
- IL PERCORSO APPARENTE DEL SOLE
- LA LUNA E LE SUE FASI
- I CALENDARI DELLE GRANDI CIVILTÀ' (ma anche del contadino e dell'orizzonte di Pragelato)
- I SEGNAMEPO NATURALI (Toponimi, orologi a fuoco, ad acqua, clessidre, ecc)
- L'EQUINOZIO DI PRIMAVERA
- GLI OROLOGI SOLARI E LE MERIDIANE
- L'HORIHOMO (L'ombra dei ragazzi indica l'ora)
- OROLOGI SOLARI PORTATILI (Costruzione di vari orologi solari portatili)
- UN GIROVAGO PINTOR DI MERIDIANE (Analisi degli orologi solari di Zarbula sul territorio)

LO GNOMONE DEL TOSCANELLI NEL DUOMO DI FIRENZE

GABRIELE VANIN

Confesso che fino a quarant'anni di età non ho avuto il piacere di assistere al passaggio del disco solare all'interno di una meridiana a camera oscura. Poi, nel gennaio 1999, in occasione di una riunione del Consiglio Direttivo UAI a Bologna, ho convinto gli altri consiglieri, nella pausa del pranzo, ad assistere al transito del Sole sulla meridiana di S. Petronio, a cinque minuti a piedi dal luogo della riunione. È stata un'esperienza indimenticabile, che non esito a definire un grande fenomeno celeste, al pari di quelli riguardanti le osservazioni astronomiche di oggetti quali grandi comete, eclissi, piogge di stelle cadenti, grandi congiunzioni planetarie, che ho potuto sperimentare spesso in situazioni ideali di trasparenza e seeing.

Un'altra esperienza simile, ma ancor più emozionante, l'ho vissuta il 21 giugno 2000, assistendo al transito solare all'interno della camera oscura allestita con lo gnomone più alto del mondo. Nella lanterna della cupola del Duomo di S. Maria del Fiore in Firenze (v. fig. 1) il grande cosmografo fiorentino Paolo Dal Pozzo Toscanelli, nel 1468, fece installare un foro gnomonico con lo scopo di individuare il momento esatto del solstizio estivo, di compiere misure sulla durata dell'anno, sull'obliquità dell'eclittica e su altri fondamentali parametri astronomici. Il foro gnomonico, con i suoi 90 m di altezza (alto, come dice Ximenes, più di S. Maria degli Angeli, di S. Petronio e di S. Sulpice messi assieme, "e ancora resterebbe spazio per un quarto gnomone non disprezzabile") produce un'immagine della nostra stella di circa 80 cm di diametro sul pavimento della cattedrale. Qui, oltre ai segni solstiziali (un disco più piccolo e uno più grande, più o meno delle stesse dimensioni di quello solare), si trova una linea meridiana, limitata però ai mesi da maggio a luglio, l'unico periodo in cui, date le enormi dimensioni, si può assistere al passaggio del Sole nel Duomo, fatta incidere da Leonardo Ximenes nel 1755.

Da qualche anno l'Opera di S. Maria del Fiore, in collaborazione con l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, l'Istituto e Museo di Storia della Scienza e il Comitato di Divulgazione dell'Astronomia, organizza delle osservazioni pubbliche dell'evento. In queste occasioni vengono oscurate con dei teli le finestre della lanterna, lasciando libera solo una fenditura attraverso la quale i raggi del Sole possono illuminare la bronzina sulla quale è praticato il foro gnomonico (80 mm di diametro) e, passando attraverso il foro, giungere sul pavimento della chiesa.

Quest'anno vi sono stati cinque appuntamenti, scaglionati dal 23 maggio al 26 giugno. Ovviamente, il più ambito è stato quello del 21 giugno, favorito anche da una giornata magnificamente serena, al quale hanno partecipato circa un centinaio di persone. Dopo una conferenza introduttiva del prof. Alberto Righini dell'Osservatorio di Arcetri, abbiamo assistito all'impressionante progressione del disco solare sul pavimento della Cappella della Croce.

Il centro del disco solare è transitato alle 13:15:22 di Tempo Legale Estivo sul centro del grande disco solare (v. fig. 2). Ora, alla Cappella della Croce, posta a $11^{\circ}15'28,65''$ di longitudine E, la culminazione solare avveniva quel giorno alle 13:16:46,5. La differenza, di un minuto e 23,5 secondi, mi ha lasciato perplesso, conoscendo la fama di Toscanelli. Sono andato allora a consultare l'opera che Ximenes ha scritto sull'argomento, dove si parla sia dello gnomone del Toscanelli sia di quello da egli rettificato nel 1755 (*Del vecchio e del nuovo gnomone fiorentino*, Firenze, 1757).

In effetti Ximenes, parlando del vecchio gnomone, e conoscendo le critiche che erano già state mosse da tempo all'imprecisione dello strumento, mette le mani avanti e cerca di dimostrare, riuscendovi benissimo, che il livello delle conoscenze astronomiche a Firenze già nel primo Medioevo era elevatissimo, tanto che dai passi di un calendario del IX secolo trovato nell'Opera della cattedrale, che fa distinzione fra equinozio ecclesiastico e astronomico, si desume che già allora ci si era accorti dello spostamento dell'equinozio. Toscanelli si inserisce bene in questa tradizione: secondo Ximenes egli fu in grado di correggere le tavole toledane (elaborate da Arzachel nell'XI secolo) e alfonsine (comilate da Alfonso X di Castiglia nel XIII secolo) per quanto riguarda la lunghezza dell'anno. Inoltre Toscanelli riteneva la costante precessionale minore di

quanto la fissava Albategnio (IX secolo) che dava un valore di $55''$ /anno (il valore di Albategnio in realtà era più vicino al vero, ma l'errore di Toscanelli era minore di quello commesso da quasi tutti i suoi contemporanei).

Ancora, egli eseguì molte osservazioni solari e lunari, fu il primo a misurare con accuratezza la posizione della testa e l'orientamento della coda delle comete (osservò anche la Halley, nel suo passaggio del 1456, oltre ad altre quattro comete) e, come riferisce Pico della Mirandola, principale fonte di notizie sul grande fiorentino, non credette mai all'astrologia, perché, curiosamente: "nella vecchiezza inoltrata, quando con tutti gli esami delle costellazioni dominanti all'ora del suo nascimento niuna se ne trovava, che fosse favorevole alla lunghezza degli anni." (Toscanelli visse fino a 85 anni, cosa del tutto inusuale all'epoca).

Il disco piccolo, il cui centro giace sulla stessa linea su cui giace il disco grande, ma che non è concentrico a questo, fu installato da Toscanelli e doveva servire, secondo Ximenes, per stabilire il momento del solstizio attraverso due distinte osservazioni, una eseguita otto giorni prima e una eseguita otto giorni dopo il giorno del solstizio: l'orlo solare coincideva con il margine meridionale del disco piccolo il 4 e il 20 giugno; il margine di otto giorni era stato stabilito probabilmente perché già Toscanelli sapeva che di questa entità, otto giorni appunto, era l'anticipo del solstizio, nel 1468, dovuto all'imprecisione del calendario giuliano. E il 1468 viene stabilito come data per l'installazione del disco piccolo da Ximenes proprio perché solo in quell'anno la differenza fra le due declinazioni solari il 4 e il 20 giugno era pressoché inavvertibile, solo $17''$.

Il disco grande è stato installato da un nipote di Toscanelli o da Padre Antonio Dulciati prima del 1510 e coincide per il 1510 con l'immagine solare priva di penombra. Valutando il marchiano errore di posizionamento dello gnomone (che risulta spostato verso ovest, secondo i suoi accuratissimi calcoli, di $54'32,30''$), Ximenes è piuttosto indulgente nei confronti di Toscanelli. Pur non potendo sapere quale metodo egli abbia potuto usare per stabilire il punto del transito solare, Ximenes pensa che sia stato usato il metodo dei cerchi indù, che fu usato ancora da Cassini, per esempio, nella costruzione della meridiana di S. Petronio. Tale sistema però non poteva dare risultati molto probanti, perché lo spazio disponibile è piuttosto angusto e quindi non si potevano prendere due tangenti per un tempo superiore a mezz'ora prima e mezz'ora dopo il passaggio in meridiano. In alternativa, Toscanelli potrebbe aver misurato altezze solari uguali servendosi di uno strumento in auge a quei tempi, la regola parallattica di Tolomeo, ma anche in questo caso la mancanza di un valido segnatempo (non esistevano orologi precisi) avrebbe in parte vanificato la precisione della misura.

Entrambe queste giustificazioni possono sembrare troppo comprensive (soprattutto la prima, pensando che comunque una limitazione di lettura, orizzontale sarebbe stata almeno in parte compensata da una spropositata disponibilità in senso verticale, permessa dalle dimensioni dello gnomone), ma non dobbiamo dimenticare il livello dell'astronomia del Quattrocento: per fare un esempio il più grande astronomo di quel secolo, Regiomontano, nelle sue effemeridi non era capace di fornire gli istanti delle eclissi con una precisione migliore di un quarto d'ora e le sue tavole delle longitudini delle principali città europee davano dei valori errati da un minimo di un grado a un massimo di cinque gradi.

Ximenes, nel 1755, si prefisse di installare nel duomo una linea meridiana che, grazie alle grandi dimensioni dello gnomone, non avrebbe dovuto errare più di mezzo secondo. Elaborò tutta una serie di procedimenti, minuziosamente descritti nel suo libro, atti ad ottenere la massima precisione possibile con la tecnologia del tempo. Ximenes usò il metodo delle altezze uguali solari prese, prima e dopo mezzogiorno, con un quadrante munito di cannocchiale, correggendo addirittura i dati per la differenza di declinazione solare sopraggiunta nell'intervallo fra le misure (elaborando una tavola per le correzioni per Firenze, visto che le effemeridi disponibili, quelle Bolognesi e le Connaissance des Temps, non erano sufficientemente precise per uno gnomone così elevato e quindi potenzialmente preciso).

Ancor oggi ci possiamo rendere conto della precisione ottenuta: il 21 giugno scorso (v. fig. 3) ho misurato il transito del disco solare sulla linea meridiana dello Ximenes alle 13:16:45 di Tempo

Legale Estivo, con un errore quindi di un secondo e mezzo. Tuttavia io non mi trovavo perfettamente sopra la linea al momento della misura né disponevo di traguardi precisi. È quindi più che possibile che il mio errore di misura sia maggiore dell'errore intrinseco allo strumento: ciò sarebbe indirettamente confermato dal fatto che Ximenes stimava l'errore dello gnomone di Toscanelli di un minuto e 27,5 secondi, non di un minuto e 23,5 secondi come da me rilevato (anche se sicuramente la discrepanza fra questi due dati è da ascrivere più alla difficoltà di valutare la sovrapposizione dell'immagine solare al segno solstiziale che alla linea meridiana).

Al di là dei dati scientifici, però, in conclusione posso dire che l'esperienza vissuta, e le emozioni provate durante questa specie di "rito solare", mi hanno convinto della necessità di far vivere a quanta più gente possibile questo straordinario spettacolo astronomico. Di qui l'adesione alla proposta, per ora fatta a livello informale dal prof. Righini, di organizzare, in collaborazione fra UAI e SAIt, una giornata dedicata all'osservazione pubblica del transito solare in tutte le meridiane a camera oscura italiane. La data migliore, ovviamente, sarebbe quella del 21 giugno 2001.

Fig. 1. La luce del Sole, in prossimità del mezzogiorno vero locale, filtra dal foro gnomonico posto sulla lanterna della cupola del Duomo di Firenze.

Fig. 2. Il disco solare transita sui segni solstiziali. Si nota lo slittamento dell'immagine del Sole rispetto al segno grande, dovuto alla variazione dell'obliquità dell'eclittica nei quasi cinque secoli trascorsi dall'installazione.

Fig. 3. Il passaggio del Sole sulla precisissima linea meridiana dello Ximenes.

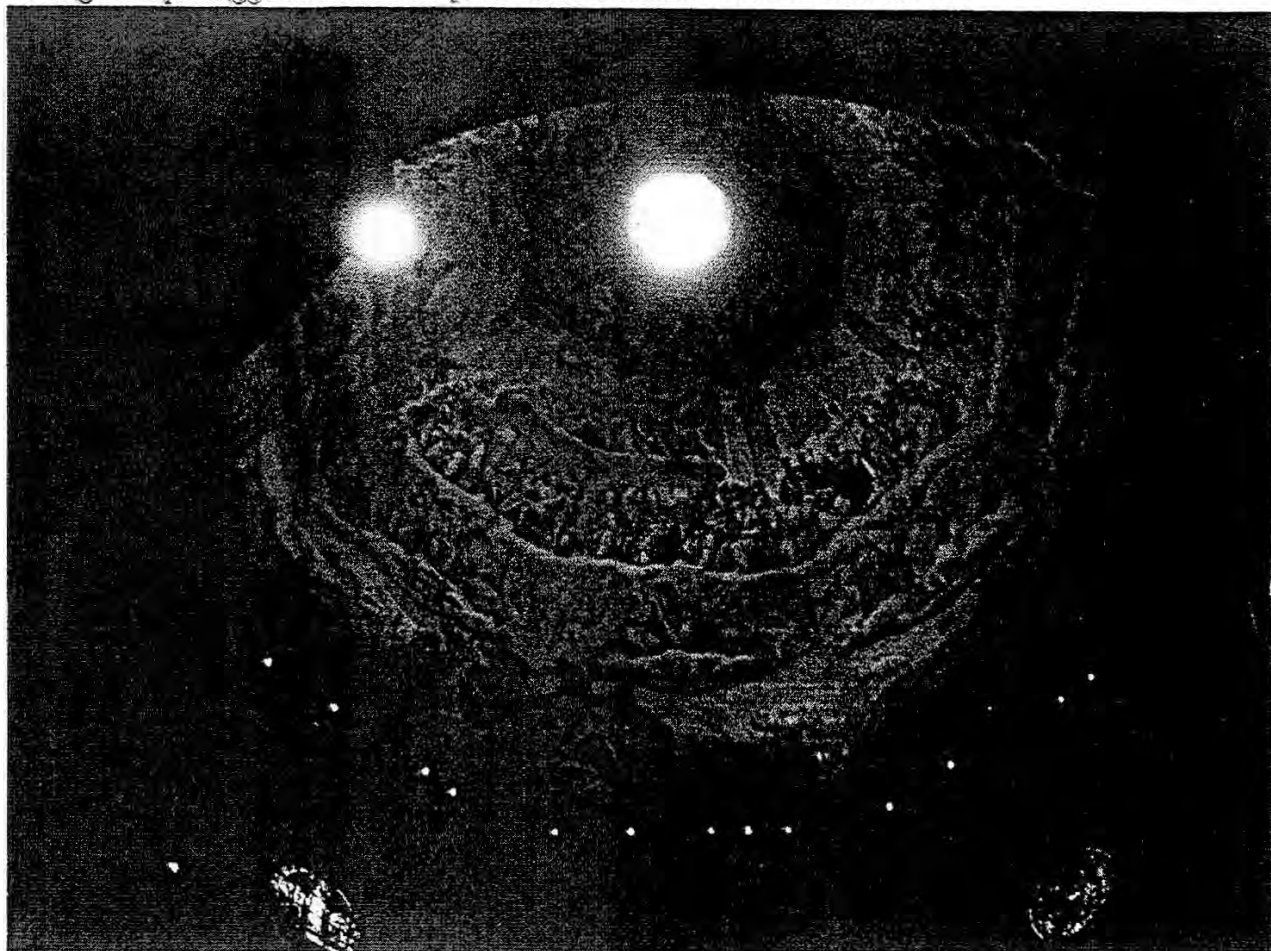




FIG. 2

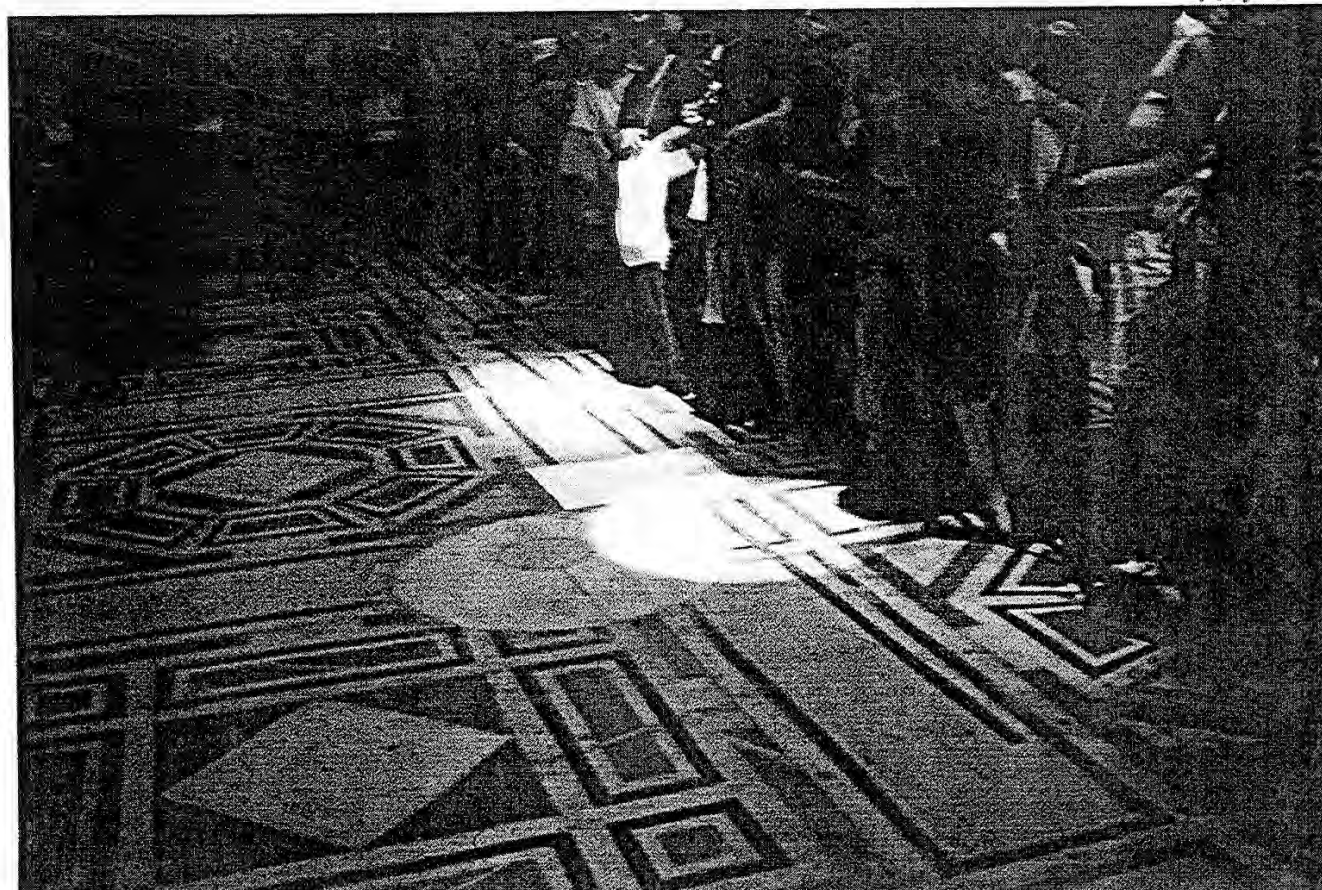


FIG. 3

OROLOGI SOLARI SU SUPERFICI CILINDRICHE CONCAVE E CONVESSE

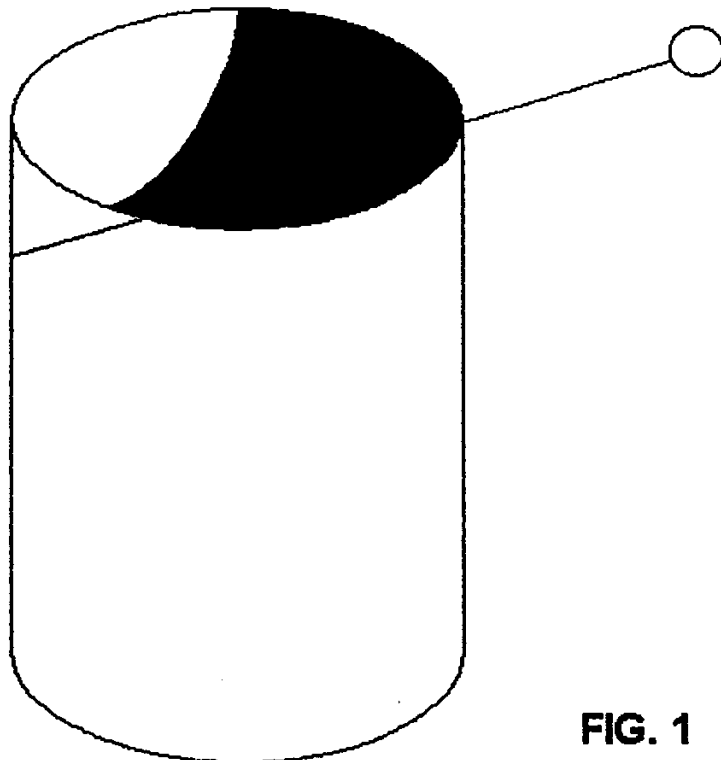
GIUSEPPE ZUCCALA

ESTRATTO

Sono esaminati tipi di orologi solari calcolati e realizzati su quadranti cilindrici concavi e convessi, e con gnomoni non convenzionali.

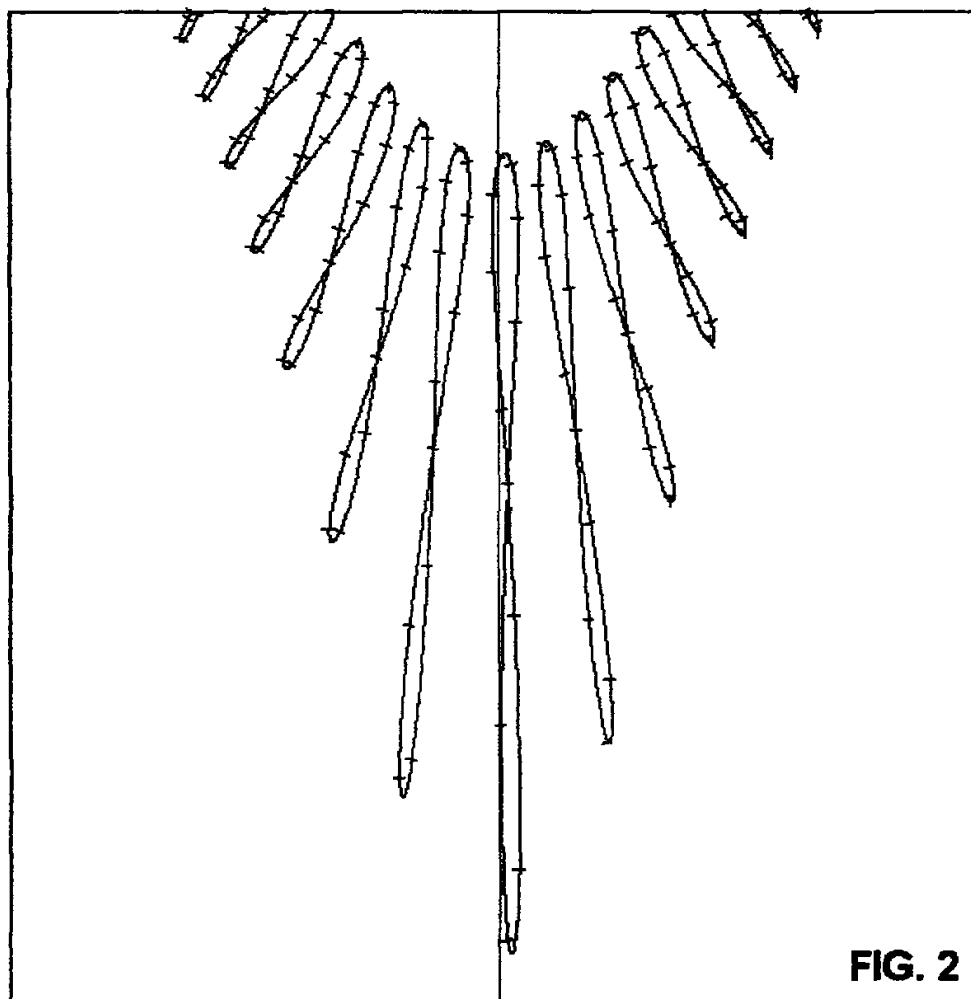
Il presente lavoro è scaturito dal desiderio di "riciclare" a fini gnomonici i barattoli cilindrici di cui l'industria alimentare riempie le nostre case. La prima idea è stata quella di usare il loro interno come quadrante e il loro orlo superiore aperto

come indicatore-gnomone. E' quella specie di 'parabola' che si proietta all'interno del cilindro a fungere da gnomone (vedi FIG. 1).

**FIG. 1**

Il primo tipo pensato e realizzato è quello fisso. In questo caso si deve decidere a priori quale punto dell'orlo considerare come indicatore. In un primo momento ho deciso di prendere in considerazione il punto dell'orlo rivolto direttamente al sole (stesso azimut solare rispetto all'asse centrale del cilindro) e quindi proiettato come il più basso. In questo modo, questo strumento si comporta come una specie di orologio del pastore

'girasole' con lunghezza gnomonica uguale al diametro; ne senso che ha una delle coordinate (y) come proiezione funzione della tangente dell'altezza del sole, e l'altra (x) sempre diretta ed uguale al suo azimut. Ripetendo tale operazione per vari giorni dell'anno alla stessa ora si ottengono le relative linee orarie. Così facendo però si ottiene un cilindro un po' troppo alto (vedi FIG. 2) per le latitudini medie italiane.

**FIG. 2**

Per questo motivo ho pensato di usare come punto gnomonico un'altro, posto ad una certa distanza angolare (sfasatura) rispetto all'azimut del sole; in modo tale da ottenere come lunghezza gnomonica una grandezza diminuita in ragione del coseno dell'angolo di sfasatura, e dello stesso rapporto diminuite le coordinate y , lasciando inalterata la progressione

delle x a meno di un incremento iniziale (angolo di sfasatura (radianti) * raggio). Per motivi "estetici" di simmetria ho scelto di dare all'angolo di sfasatura segno opposto a seconda che si tratti di ore antimeridiane (-) o pomeridiane (+) ed entrambe per il mezzogiorno (vedi FIG. 3).

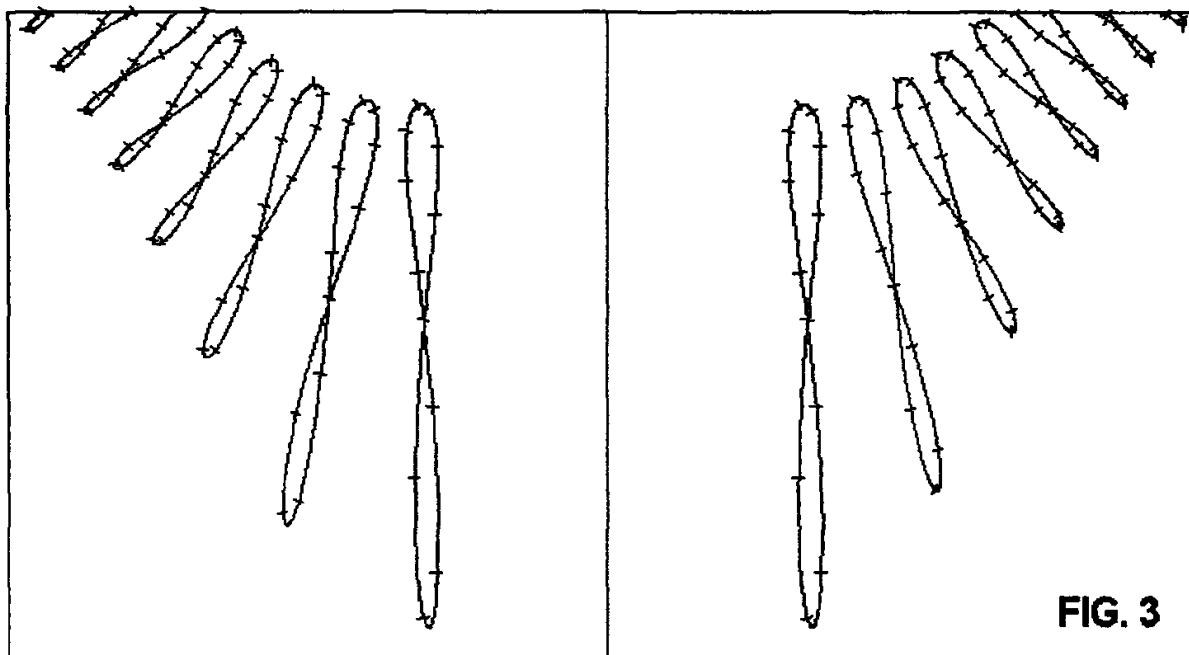
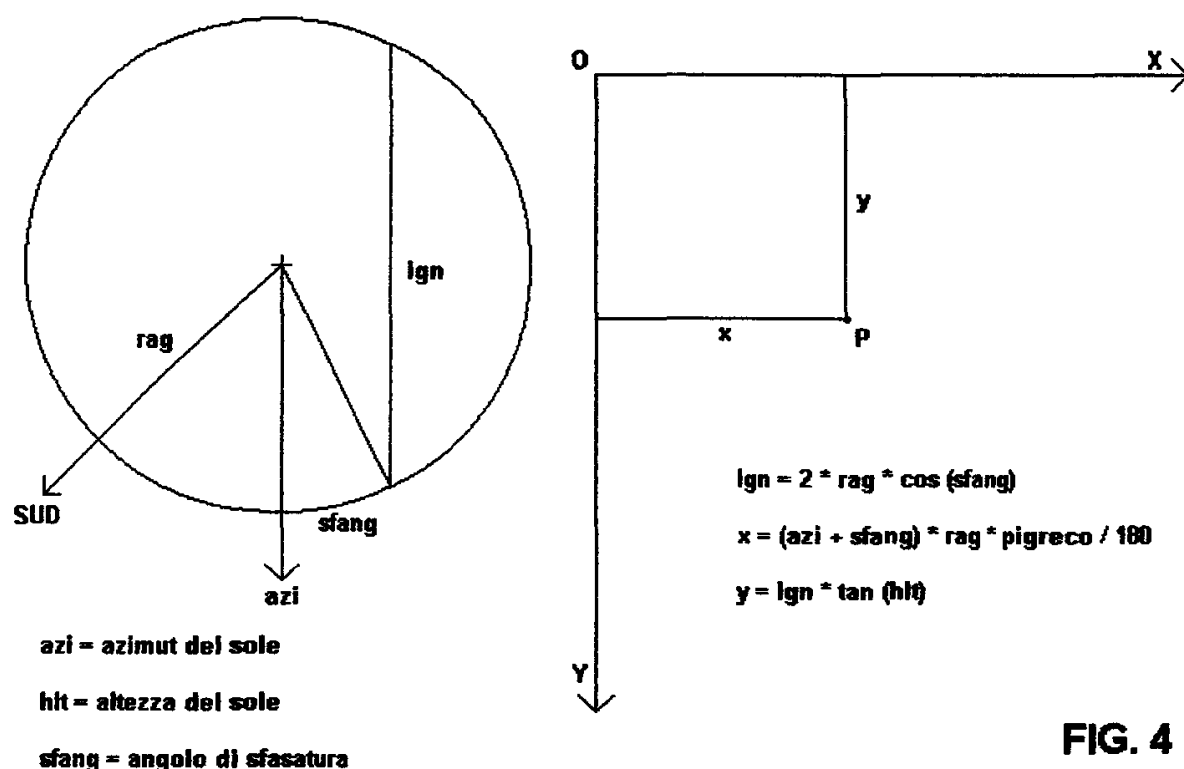


FIG. 3

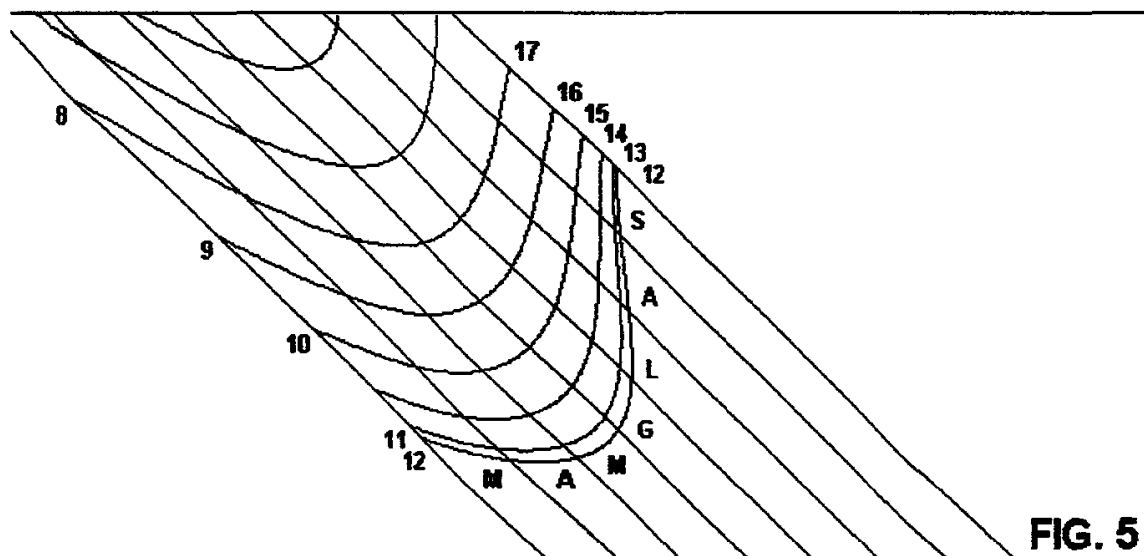
si ottiene così una ripetizione della linea del mezzogiorno che e viene usato come ora per il posizionamento e la taratura dello strumento, consente di avere una doppia verifica delle procedure di realizzazione meccanica e di installazione. In tutto

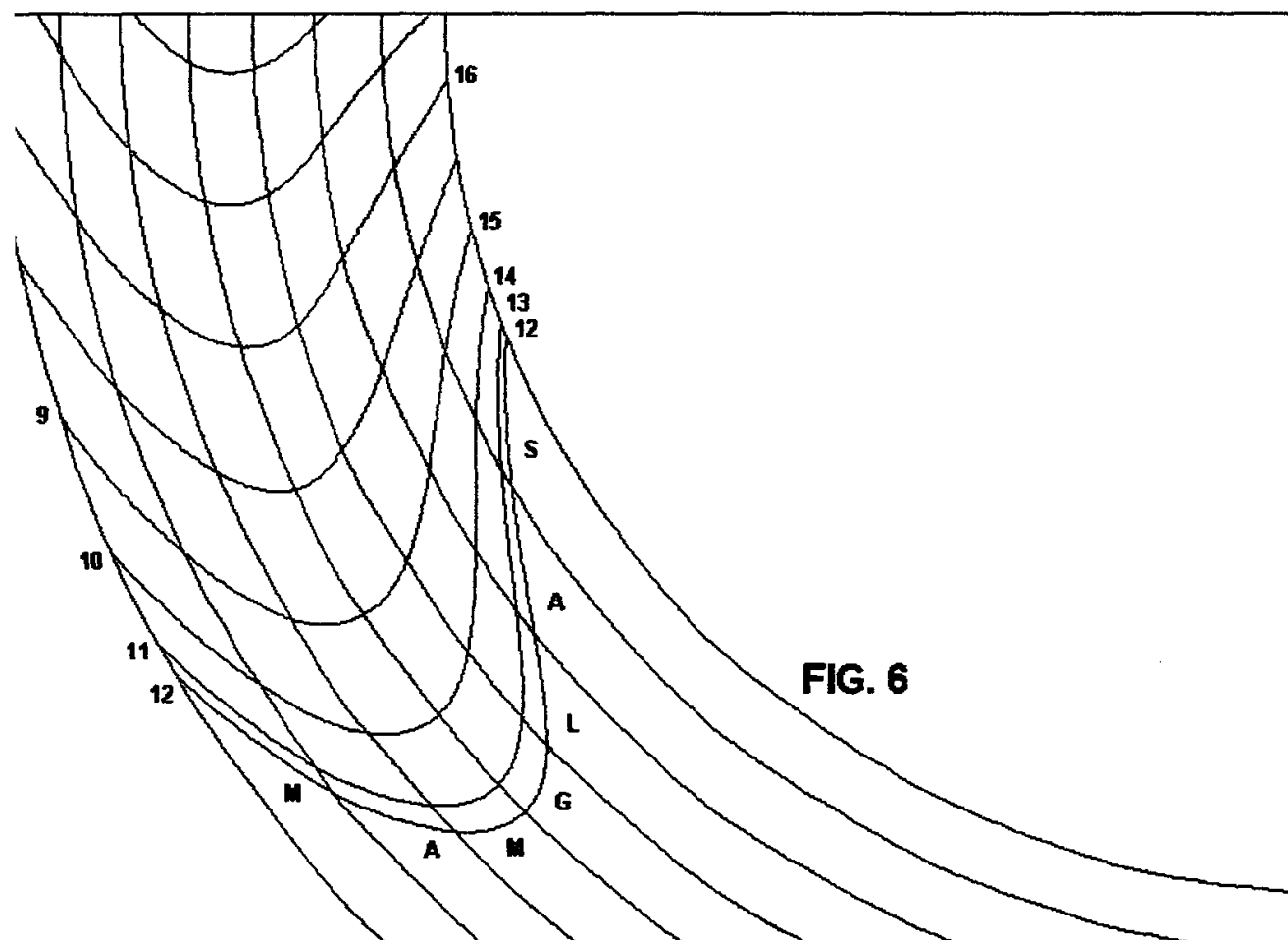
ciò si può ovviamente introdurre l'equazione del tempo corretta anche per la longitudine ottenendo un orologio solare a tempo medio del fuso con lemniscate al posto delle linee orarie. Per gli aspetti matematici di calcolo si faccia riferimento alla FIG. 4.

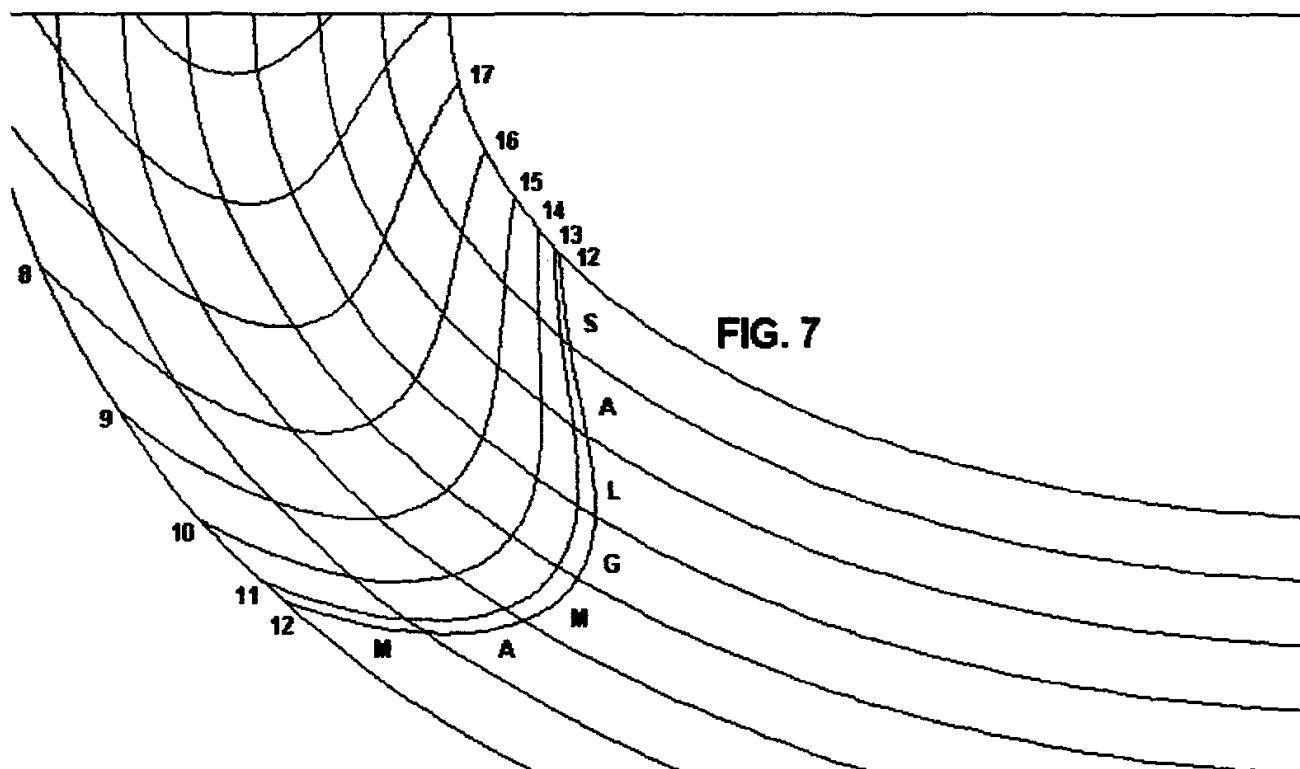


Io poi pensato di utilizzare tale strumento (barattolo cilindrico) come strumento portatile di altezza. In questo caso ho dovuto ridefinire come linea di data un tipo di curve di equazione nota, che intersecata dalla suddetta 'parabola' individua il punto orario. Ovviamente è stato necessario definire un criterio di puntamento, che in questo caso, consiste di una minuscola tacca sull'orlo del cilindro, che si proietta sulla linea diametralmente opposta sulla superficie cilindrica interna, o sul diametro del cerchio di base passante per il suo stesso piede e la linea suddetta (quando il sole ha un'altezza abbastanza elevata). Ho immaginato 3 tipi di curve, tra le più familiari, come linee di data sullo sviluppo della superficie laterale interna del cilindro:

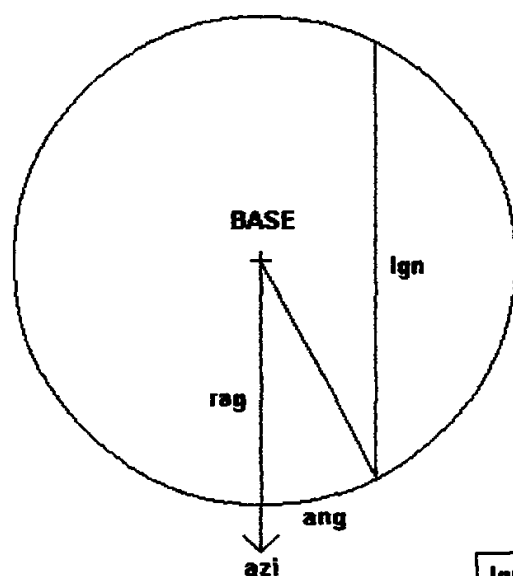
la retta; il cerchio; l'ellisse. Le prime (rette) parallele tra loro, con inclinazione arbitraria e con distanze proporzionali ai giorni di intervallo. Le altre (cerchi ed ellissi) con semiassi o raggi incrementati in progressione lineare rispetto al loro centro comune e sempre proporzionali ai giorni di intervallo. Ognuno di questi 3 tipi di curve (per tutte le linee di data) si sviluppano iniziando dal primo quarto di cerchio a partire dalla linea di traguardo opposta alla tacca di puntamento. Si possono vedere nel loro andamento grafico rispettivamente nelle FIG. 5, FIG. 6 e FIG. 7, nelle quali si nota che ogni semicilindro può essere dedicato a un semiperiodo annuale.







Per gli aspetti matematici di calcolo si faccia riferimento alla FIG. 8 per le linee di data rettilinee, e alla FIG. 9 per le linee di data circolari ed ellittiche.

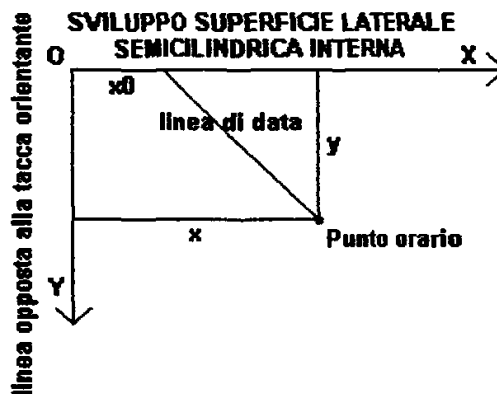


azi = azimut del sole

hlt = altezza del sole

k = coefficiente angolare

LINEA



RELAZIONI RISOLUTIVE

$$lgn = 2 * rag * \cos(ang)$$

$$lgn * (\tan(hlt)) - k * (ang * \text{pigreco} * \text{raggio} / 180 - x0) = 0$$

$$x = (azi + ang) * rag * \text{pigreco} / 180$$

$$y = lgn * \tan(hlt)$$

FIG. 8

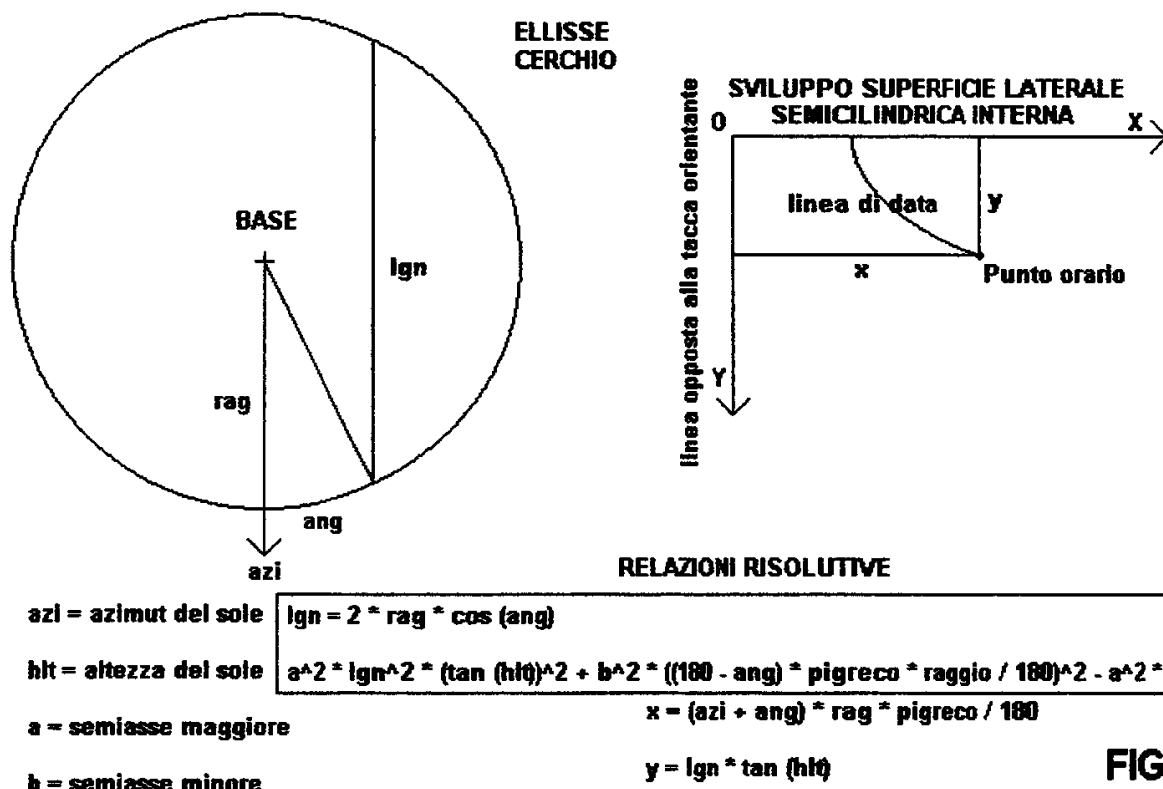


FIG. 9

Un'altra idea è stata quella di usare come quadrante, questa volta, la superficie esterna dei cilindri e come gnomone l'elica

ottenuta tagliando la superficie laterale del cilindro esterno a quello del quadrante ed ad esso concentrico (vedi FIG. 10).

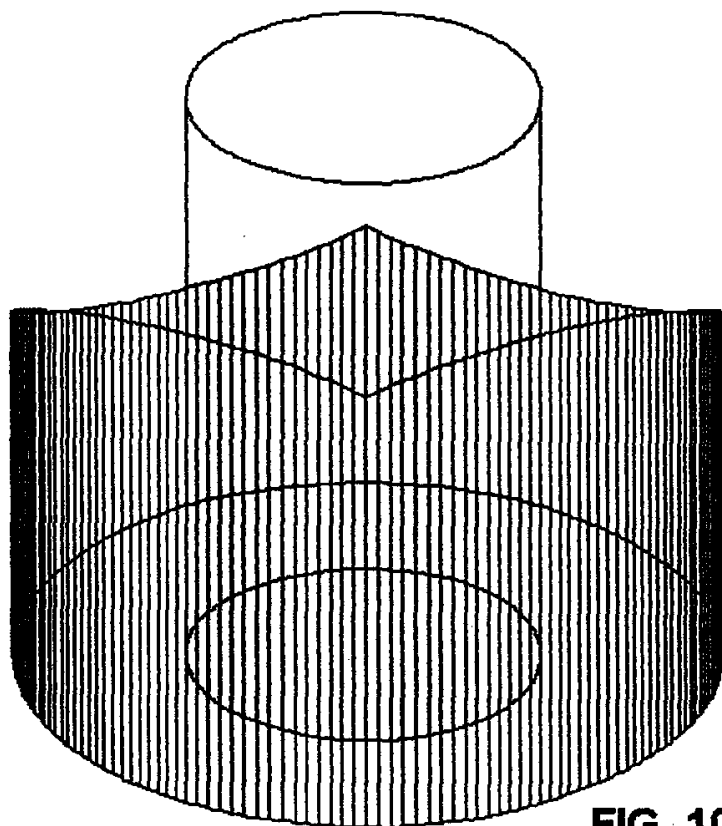
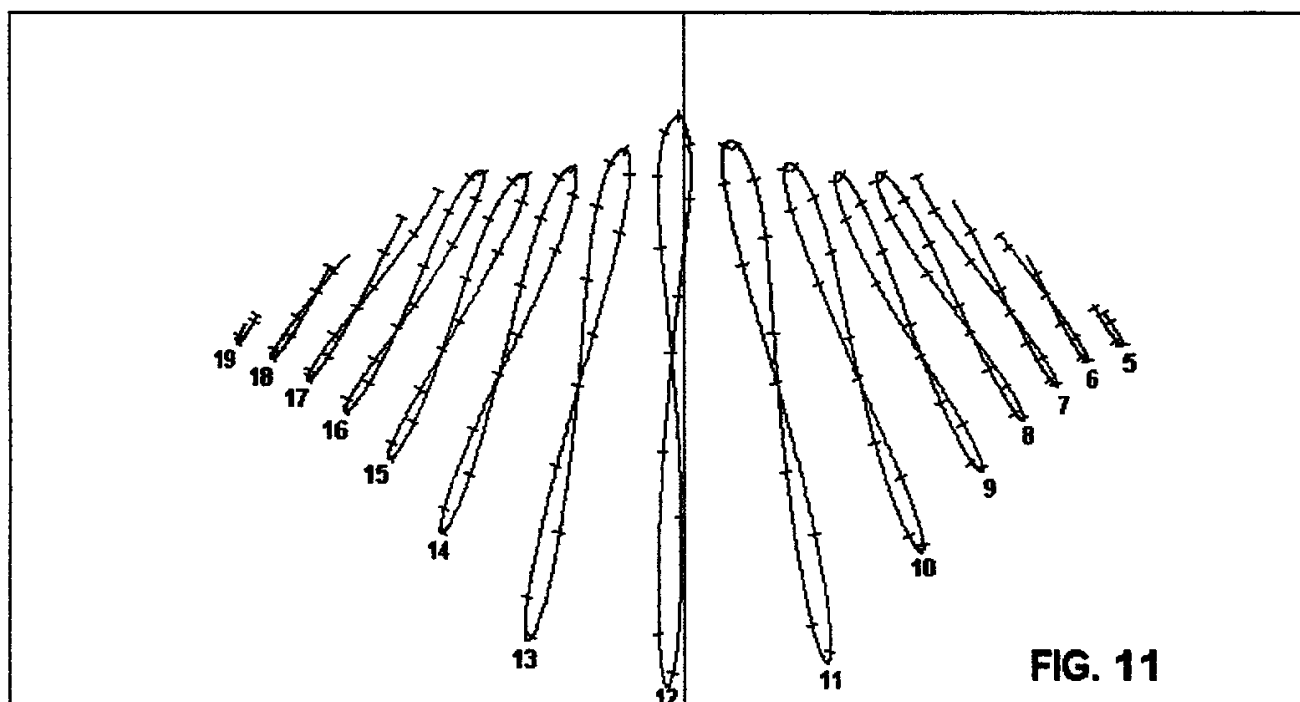


FIG. 10

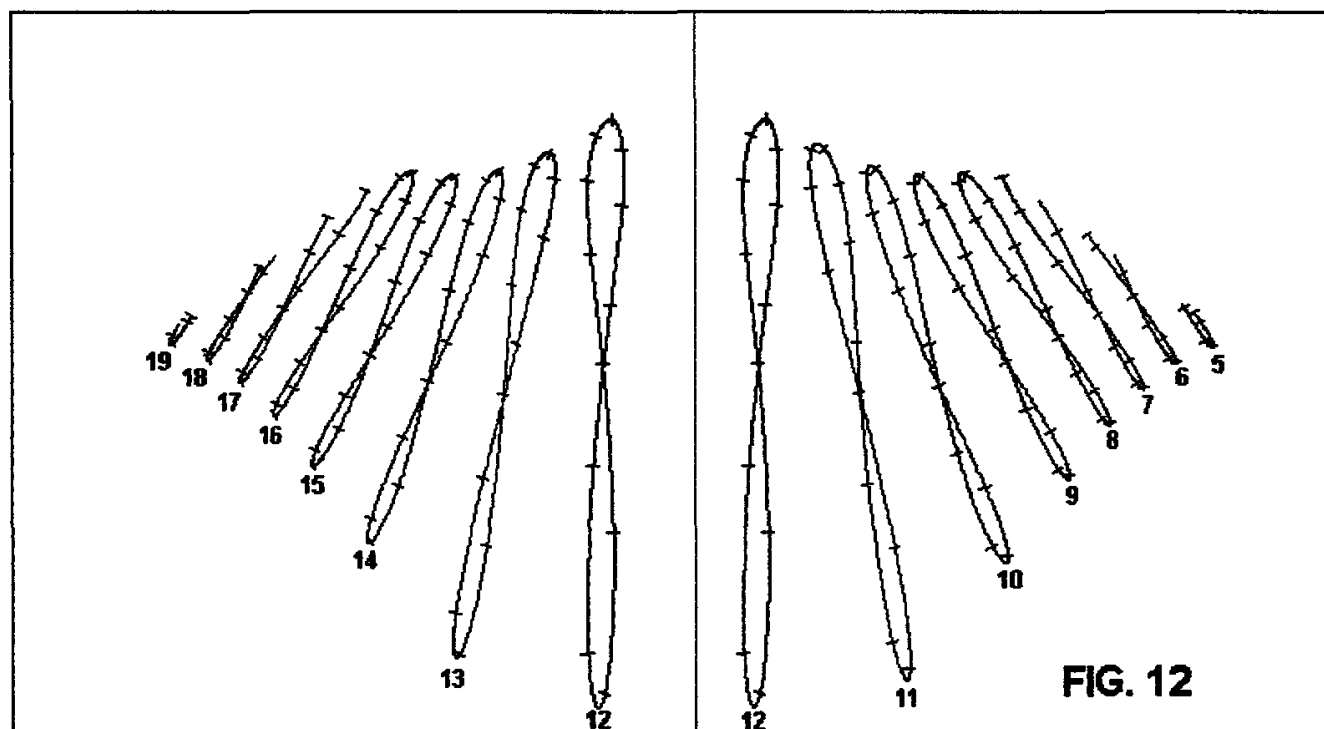
La parte più alta dell'elica va rivolta a Sud e i due bracci si incontrano, dopo un semigiorno (180°), dalla parte opposta in direzione Nord. Il taglio può avere una inclinazione qualsiasi del tipo di una retta $y = k * x$. L'indicazione oraria viene ottenuta come proiezione del punto-gnomone dell'elica che ha, rispetto all'asse dei cilindri, lo stesso azimut del sole. Si proietta, sulla superficie del cilindro convesso interno quindi,

come se fosse uno gnomone radiale (lunghezza uguale alla differenza dei raggi dei cilindri) e in ragione della sola altezza (tangente) del sole. Ripetuta tale operazione per i vari giorni dell'anno (alla stessa ora) con il relativo valore dell'equazione del tempo corretto per la longitudine rispetto al fuso, si ottengono le varie lemniscate orarie (tempo medio) come si può vedere in FIG. 11.



Per la lettura, ovviamente bisogna leggere dalla parte opposta di quella dalla quale si proietta la cuspide superiore dell'elica-gnomone. Per esempio se la cuspide si proietta ad ovest delle linea meridiana (sole con azimut orientale) bisogna leggere l'intersezione con le linee orarie ad Est e in caso contrario viceversa. Ciò, però, crea

qualche problema nella lettura delle ore 12 (l'ora più importante di un orologio solare). Per questo motivo ho pensato di assegnare un angolo di sfasatura di segno concorde all'azimut del sole, in modo da ottenere la ripetizione della lemniscata meridiana come nel caso dell'orologio cilindrico interno precedentemente descritto (vedi FIG. 12).



Per la trattazione matematica si veda la FIG. 13.

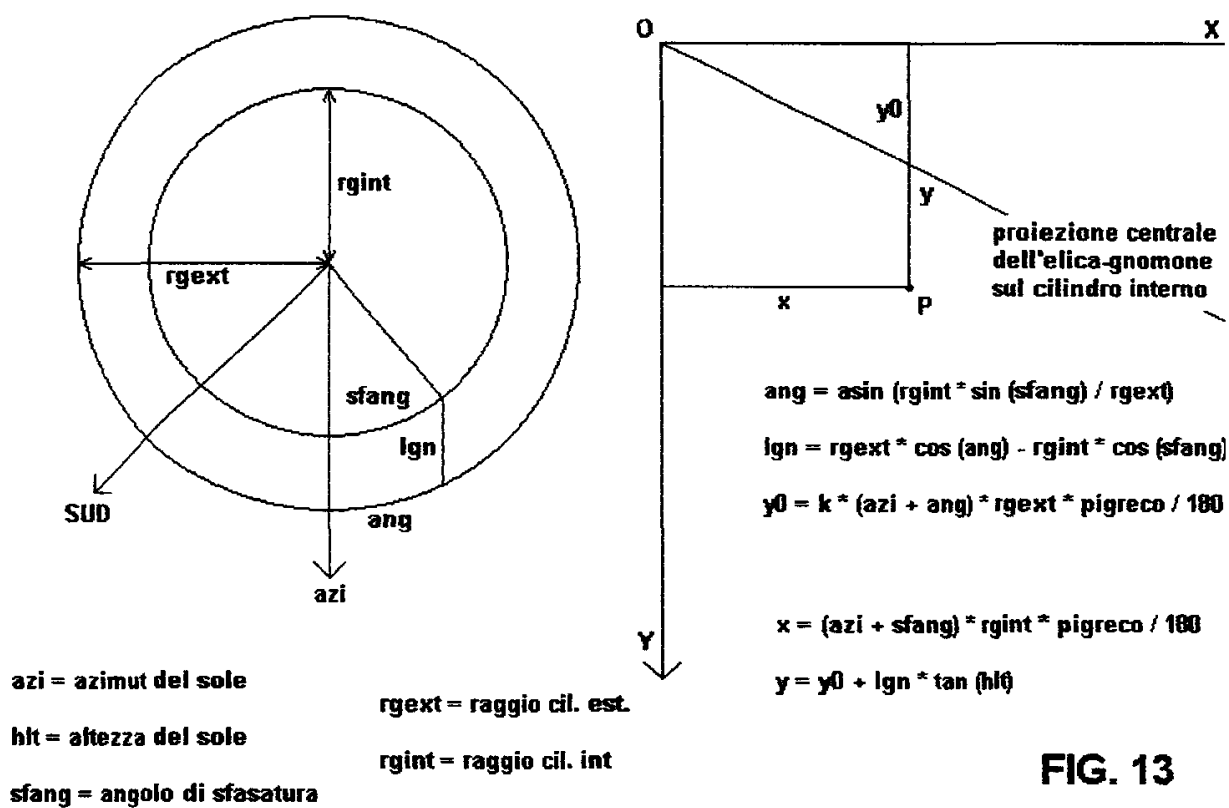


FIG. 13

MERKHET VECCHI E NUOVI
GIUSEPPE ZUCCALA

ESTRATTO

Sono esaminati tipi di orologi solari di altezza antichissimi, in una versione moderna e in una loro originale nuova reinterpretazione.

Il presente lavoro è nato in seguito alla visione di alcune immagini di orologi solari rinvenuti in alcuni sarcofaghi di faraoni egizi. Si trattava di cosiddetti merkheth, strumenti portatili che avevano la forma come quella riportata in Fig. 1. Erano orologi portatili di altezza che si orientavano verso il sole, in modo da avere l'ombra del braccio verticale rialzato perfettamente allineata sul braccio orizzontale. In questo modo l'ombra andava ad intersecare delle linee di data e delle linee orarie dando dunque la possibilità di individuare l'ora con l'indeterminatezza, però, tra antimeridiane e pomeridiane. Si nota subito, però, che un oggetto di tale forma non poteva funzionare con le ombre lunghe della prima mattina e del tardo pomeriggio. Al di là di queste limitazioni si trattava di un oggetto "rivoluzionario" che consentiva l'organizzazione molto

più efficiente delle attività della vita pubblica. Vediamo ora i suoi principi costruttivi.

Noti:

hor (angolo orario)

dc (declinazione del sole)

lat (latitudine del luogo)

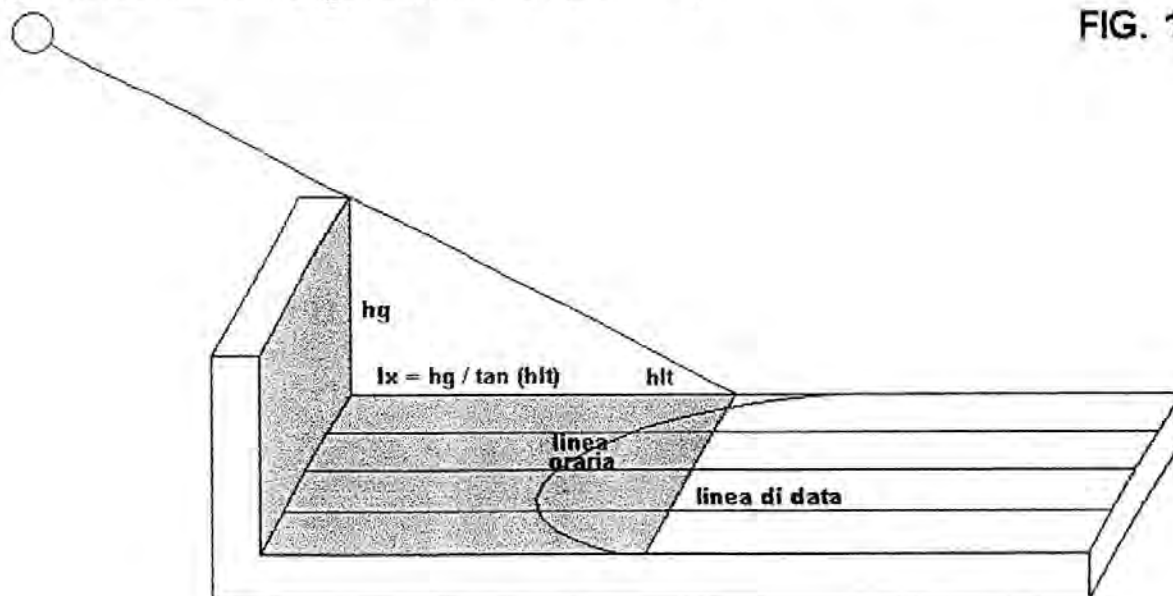
hg (altezza dello gnomone)

si ottiene **hlt** (altezza del sole) mediante la seguente relazione:

$$\text{hlt} = \text{Asin}(\text{Cos}(\text{dc}) * \text{Cos}(\text{hor}) * \text{Cos}(\text{lat}) + \text{Sin}(\text{dc}) * \text{Sin}(\text{lat}))$$

da cui si ricava la lunghezza dell'ombra gnomonica **lx** come in FIG. 1.

FIG. 1



Si tracciano dunque le varie linee di data parallele tra loro.

Fissate poi le varie ore (**hor**), e ripetendo tale operazione (calcolo e riporto delle lunghezze dell'ombra gnomonica) per le declinazioni delle diverse date si possono tracciare, così, le varie relative linee orarie.

Per ovviare alle limitazioni di funzionalità dello strumento nelle prime ore della mattina o in quelle del tardo pomeriggio, e riuscire, comunque, ad intercettare l'ombra generata dalla parte anteriore, basta sollevare il piano posteriore inclinandolo di un qualsiasi angolo, proseguendo fino alla quota della linea

gnomonica anteriore, come si può vedere in FIG. 2. Così facendo l'orologio funzionerà in ogni situazione, e cioè, a ogni altezza del sole.

Anche in questo caso le linee di data vengono condotte parallele e rispetto al caso precedente si ha la sola variazione della relazione per **lx**, ossia:

Noti:

hor (angolo orario)

dc (declinazione del sole)

lat (latitudine del luogo)

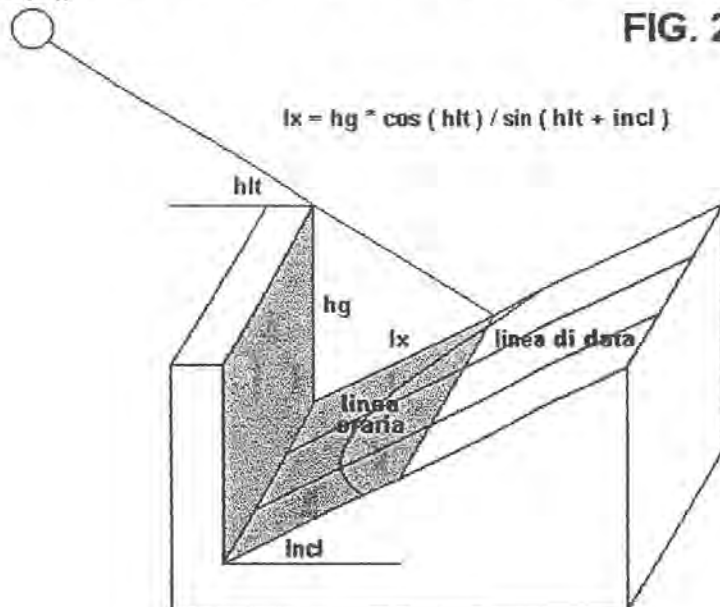
hg (altezza dello gnomone)

incl (inclinazione del piano)
si ottiene **hlt** (altezza del sole) mediante la seguente relazione:

$$hlt = \text{Asin} (\text{Cos}(dc) * \text{Cos}(hor) * \text{Cos}(lat) + \text{Sin}(dc) * \text{Sin}(lat))$$

da cui si ricava la lunghezza dell'ombra gnomonica **lx** come da FIG. 2.

FIG. 2



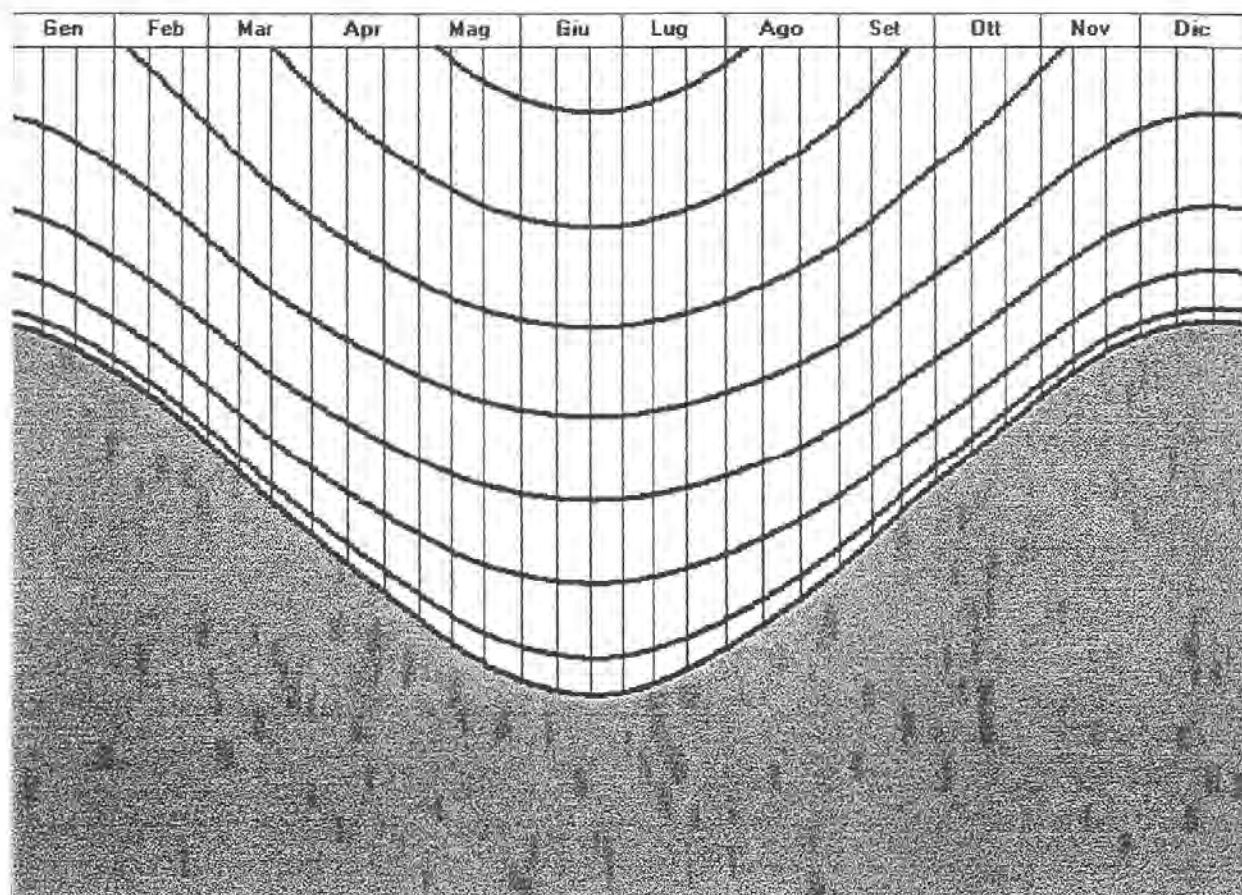


FIG. 2a

Il diagramma risultante è del tipo di FIG. 2a.

Una ulteriore variante alla precedente versione dello strumento è quella di avere come gnomone non più una linea orizzontale, bensì un punto gnomonico e, inoltre, le linee di data già centi ancora su un piano inclinato, ma distribuite a raggiera intorno ad una linea di massima pendenza, come in FIG. 3 (convergente verso il basso) e FIG. 4 (convergente verso l'alto). Lo strumento va perciò orientato facendolo ruotare orizzontalmente in modo da portare il punto ombra dello gnomone sulla linea di data, leggendo l'ora sulla linea oraria interessata.

In questo caso noti:

hor (angolo orario)

dc (declinazione del sole)

lat (latitudine del luogo)

hg (altezza dello gnomone)

incl (inclinazione del piano)

apt (segmento di linea di massima pendenza fino alla quota del punto gnomonico)

dstg (distanza del piede dello gnomone dal piede della linea di massima pendenza)

maxx ; **minx** (distanza della linea di data alla quota dello gnomone e quella sul piano orizzontale in FIG. 3)

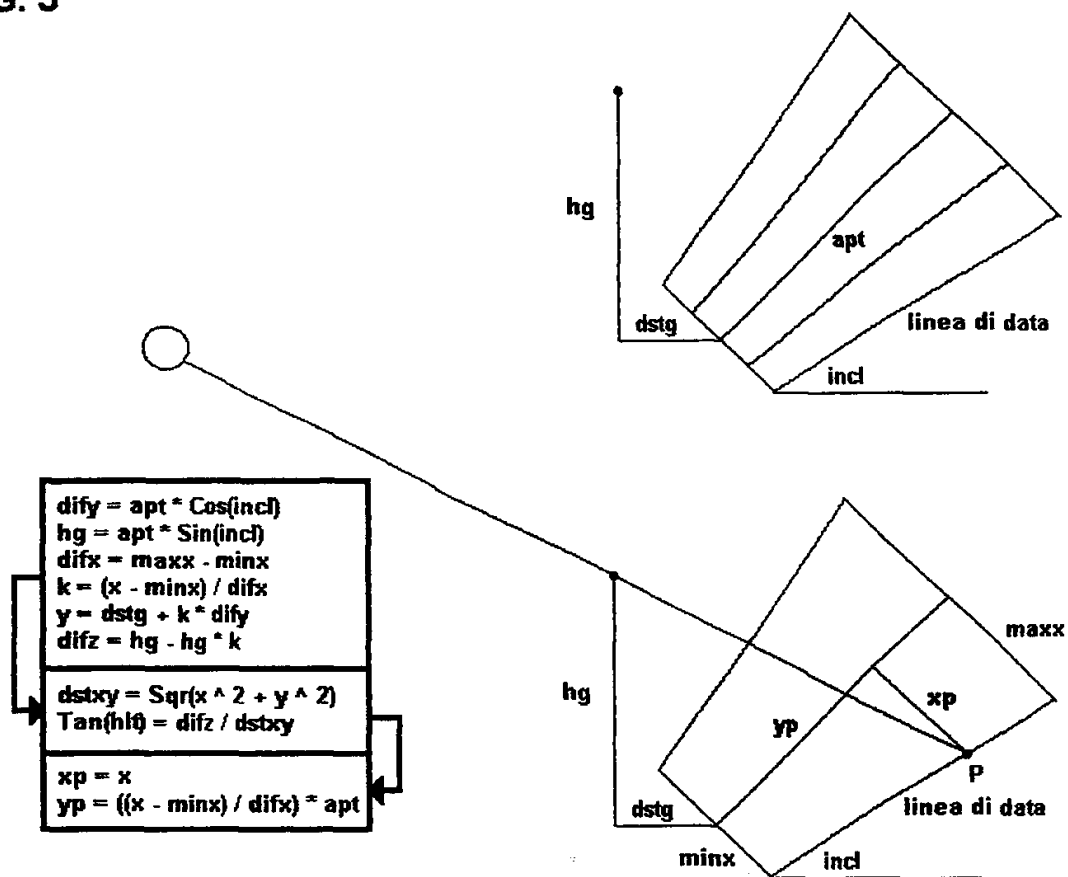
minx ; **maxx** (distanza della linea di data alla quota dello gnomone e quella sul piano orizzontale in FIG. 4)

si ottiene **hlt** (altezza del sole) mediante la seguente relazione:

$$hlt = \text{Asin} (\text{Cos}(dc) * \text{Cos}(hor) * \text{Cos}(lat) + \text{Sin}(dc) * \text{Sin}(lat))$$

da cui si ricava le coordinate **x** e **y** dell'ombra del punto gnomonico **P** come da FIG. 3 o da FIG. 4.

FIG. 3



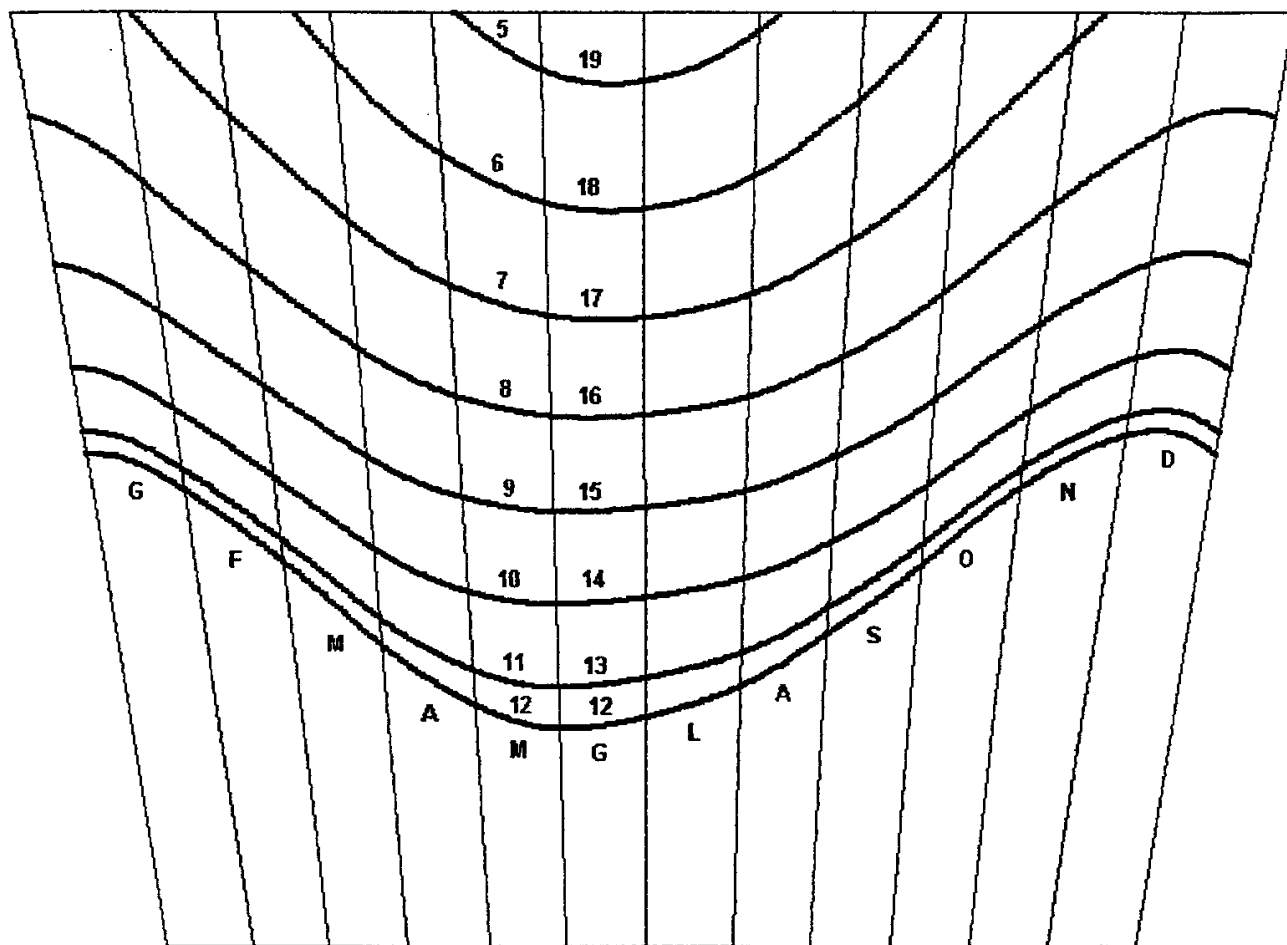
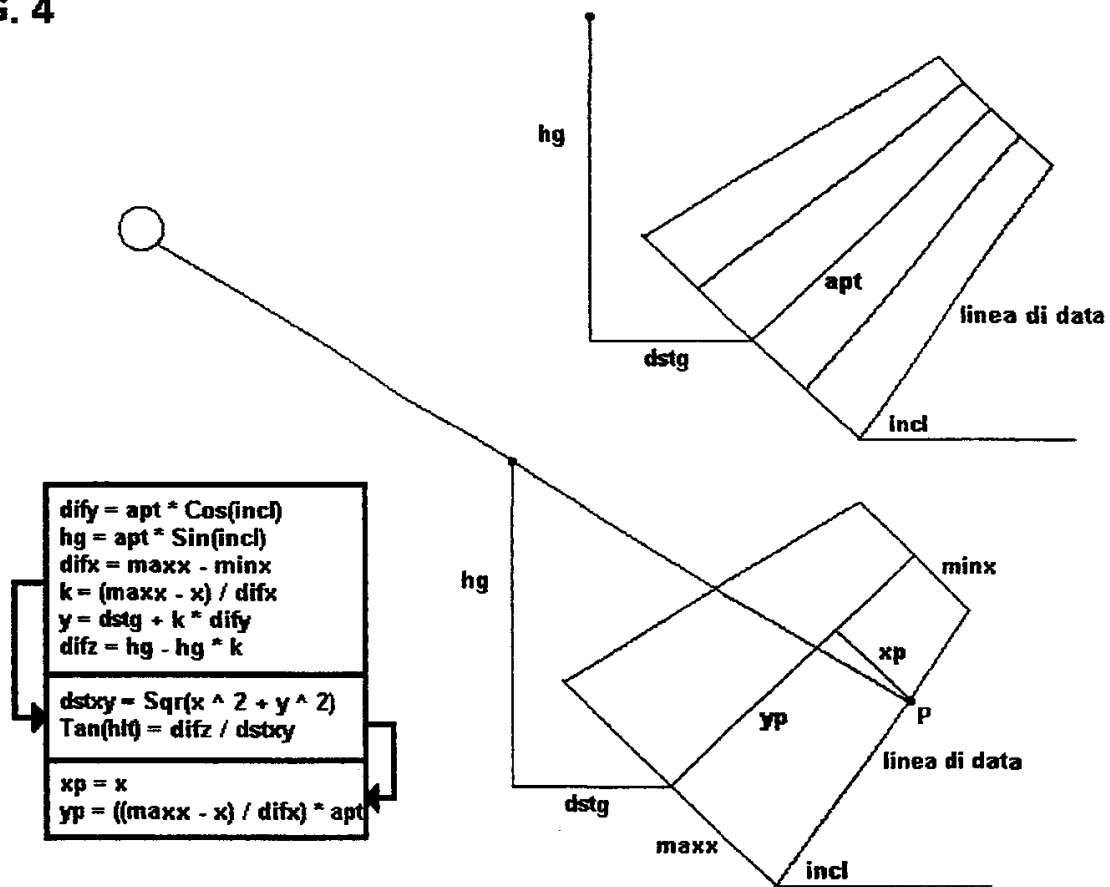


FIG. 3a

FIG. 4



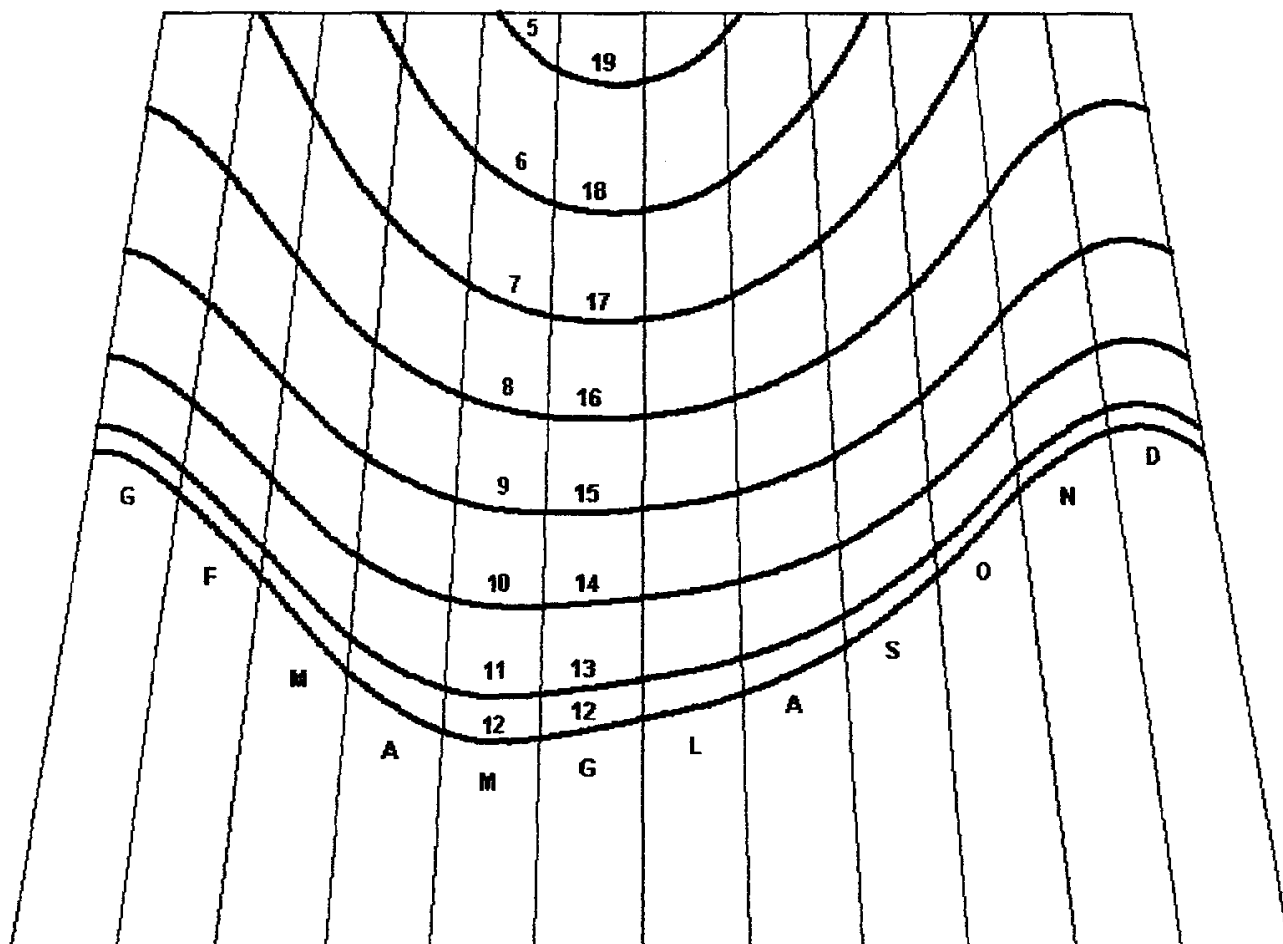


FIG. 4a

I diagrammi risultanti sono del tipo rispettivamente di FIG. 3a e
FIG. 4a.